



DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DEL COLEGIO SAN RAFAEL (7)

**CONMUTADORES INALÁMBRICOS PARA
PERSONAS CON DISCAPACIDAD**

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

PROYECTO FINAL DE CARRERA

LUIS MORENO GONZÁLEZ



Título: DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DELCOLEGIO SAN RAFAEL (7): CONMUTADORES INALAMBRICOS PARA PERSONAS DISCAPACITADAS

Autor: LUIS MORENO GONZÁLEZ

Director: RICARDO VERGAZ BENITO

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ____ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



Agradecimientos

Para comenzar quiero dar las gracias a mi familia, la cual ha sido un apoyo fundamental durante todos mis años de estudio, tanto psicológicamente cómo económicamente, estando en todo momento a mi lado apoyándome hasta el final. Dándome consejos, haciendo que uno de mis principales sueños se hiciera realidad.

Gracias en especial a mi padre, Luis, el cual durante toda la carrera me ha ido aportando todos los elementos necesarios para los proyectos, aportándome ideas nuevas, confiando en mí, dándome consejos y soportándome en los momentos más difíciles por los que he pasado.

Gracias a mi madre, la cual ha desempeñado un gran papel cómo psicóloga durante toda mi vida, ya que todo no es del color de rosas y la verdad que el último año de la carrera ha sido un pilar importantísimo recibiendo por parte de mi madre todo el apoyo que necesitaba para salir adelante.

Gracias también a mi hermana, que aunque en estos momentos se encuentre viviendo en Tenerife, durante todos mis años de mi vida me ha aportado millones de valores y cosas nuevas que he adquirido y he aprendido gracias a ella haciéndome crecer como persona.

También doy gracias a Yolanda, una chica especial que estuvo a mi lado durante muchos años, aguantándome cómo nadie lo hizo debido a mi gran obcecación con sacármela carrera, y aunque hoy por hoy no esté a mi lado le tengo que agradecer todo los momentos estresantes que ha soportado cuando estuvo a mi lado.

Muchísimas gracias también al ministerio de educación quien me ha dispuesto de los medios económicos, para que yo pudiera sacarme el grado en ingeniería electrónica y automática, de no haber sido por ellos igual no hubiese tenido los medios económicos, para haber estudiado la carrera.

Y por supuesto doy gracias a Ricardo, quien ha hecho lo posible porque yo desempeñase este proyecto para el hospital, cuando no que daban proyectos disponibles, hizo lo posible por buscarme uno, para poder realizar este proyecto, para ayudar a estos niños que tanta ilusión me hacía.

Resumen del proyecto

El proyecto se ha realizado debido a la colaboración de los alumnos de grado de la Universidad Carlos III de Madrid con el Colegio del hospital San Rafael. Son proyectos que se realizan para este centro de niños discapacitados, los cuales presentan una serie de disfunciones, y mediante este tipo de proyectos se intenta hacer un poquito más fácil la vida de estos niños.

El presente proyecto pretende la implementación de una serie de pulsadores inalámbricos, que permitan poder jugar a estos niños, como cualquier otro tipo de población.

Al tener disfunciones motoras, la posibilidad de manejar cualquier tipo de juguete se les hace inviable, por lo que se han implementado unos pulsadores, para que estos niños puedan interactuar con los juguetes sin ningún tipo de problema.

Como cada niño tenía ya sus pulsadores adaptados previamente al desarrollo del proyecto (pero con cables, mediante salidas Jack), uno para cada niño, ya que cada uno de ellos se maneja como puede, se ha intentado influir lo menos posible sobre la interfaz de los mismos para que no tengan que adaptarse a nuevas condiciones de trabajo.

El objetivo de este proyecto es la implementación de unos emisores y receptores los cuales van a ir acoplados, al pulsador y al mando del juguete respectivamente, mediante la modulación en frecuencia por FSK.

Abstract

The project is a collaboration between undergraduate students at the university Carlos III of Madrid and San Rafael Hospital's School. Our project intends helping disabled children at the San Rafael centre, who present a range of disabilities, to make their life a little bit easier by implementing a series of wireless switches that allow them to play, just like many other child.

The objective of this project is to implement a transmitter and receiver pair which will be coupled, playing the push button and the command of the toy roles respectively, by the FSK modulation frequency.

Having motion dysfunction, the ability to handle and play with a toy is severely affected for these children, so we have implemented some buttons in order that they can interact with the toys without any problem.

Prior to the development of this project, the children already had control sets connected by wires and controlled by buttons; however these were not practical to everyday play. Through the implementation of wireless buttons we have intended to greatly maximize the life experiences of these children.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Antecedentes	14
1.2 Objetivos	18
1.3 Descripción general del sistema	19
2. SISTEMA PROPUESTO	22
2.1 Parte emisora	23
2.2 Parte receptora	25
3 ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	27
3.1 Electrónicos	27
3.1.1 Emisor	27
3.1.1.1 BL1: Acople pulsador y relé.	28
3.1.1.2 BL2: CD4046 (Actuando como VCO).....	31
3.1.1.3 BL3: C-0503 y antena emisora.....	34
3.1.1.4 BL4: Alimentación.	36
3.1.2 Receptor.....	38
3.1.2.1 BL1: C-0504 y antena.	39
3.1.2.2 BL2: Filtro paso-banda.	40
3.1.2.3 BL3: Recuperación de señal o información.....	50
3.1.2.4 BL4: Demodulación (CD4046), mediante PLL.	51
3.1.2.5 BL5: Amplificador de transconductancia.	54
3.1.2.6 BL6: Reducción acoplo impedancias.	57
3.1.2.7 BL7: Relé (TQ2-5V) y salida Jack 3,5 mm macho.....	58
3.1.2.8 BL8: Alimentación	59
3.2 Mecánicos.....	62
3.2.1 Emisor	62
3.2.1.1 Proceso montaje emisor.....	63
3.2.2 Receptor.....	64
3.2.2.1 Proceso montaje receptor	65
4 RESULTADOS	67
4.1 Experimentales	67
4.1.1 Emisor	67
4.1.1.1 CD4046 como VCO.....	67
4.2.1 Receptor.....	68

4.2.1.1 Filtro pasa banda.....	68
4.2.1.2 Recuperador información.....	71
4.2.1.3 Demodulador.....	71
4.2 Funcionales	72
4.3.1 Emisor	74
4.3.2 Receptor.....	75
5 PRESUPUESTO	76
5.1 Componentes	76
5.1.1 Emisor	76
5.1.2 Receptor.....	76
5.2 Desglose de horas.....	77
5.2.1 Gestión.....	77
5.2.2 Diseño	77
5.2.3 Compras.....	77
5.2.4 Documentación	78
5.2.5 Fabricación.....	78
5.2.6 Proceso de pruebas	79
5.3 Otros costes.....	79
5.4 Coste total de fabricación	79
6. CONCLUSIONES.....	80
7. MEJORAS.....	81
8 ANEXOS	82
8.1 Anexo 1“Medios empleados”	82
8.2 Anexo 2“Esquemas eléctricos emisor”.....	83
8.2.1 BL1: Acople pulsador y relé	83
8.2.2 BL2:CD4046 (Cómo VCO)	83
8.2.3 BL3:C0503 (Emisor de datos) y antena.	84
8.2.4 BL4: Alimentación	84
8.3 Anexo 3“Plano fotolítico emisor”	85
8.4 Anexo 4“TQ2-5V”.....	86
8.5 Anexo 5 “Descripción técnica CD4046”	87
8.6 Anexo 6 “Valores componentes externos CD4046 para modulación y demodulación”.	90
8.7 Anexo 7 “Características del C0503”	92

8.8 Anexo 8 “Planos caja contenedora de emisor”	93
8.9 Anexo 9” Esquemas bloques receptor”	94
8.9.1 BL1: C0504 (Receptor de datos) y antena	94
8.9.2 BL2: Filtro pasa banda	95
8.9.3 BL3: Recuperación de señal o información	95
8.9.4 BL4: Demodulación (CD4046), mediante PLL	96
8.9.5 BL5: Amplificador de transconductancia.	96
8.9.6 BL6: Reducción acoplo impedancias	97
8.9.7 BL7: Relé (Tq2-5V) y salida Jack 3mm macho	97
8.9.8 BL8: Alimentación	97
8.10 Anexo 10 “Esquema fotolítico receptor”	99
8.11 Anexo 11 “Características del C0504”	100
8.12 Anexo 12 “Planos caja contenedora de receptor”	101
8.13 Anexo 13 “Valores resistencia filtro pasa banda, para cada conmutador inalámbrico”.	102
8.14 Anexo 14 “Sistema alternativo”	104
8.15 Anexo 15 “Comparación de precios entre sistema modulado en frecuencia y sistema codificado”	106
8.16 Anexo 16 “Circuito sustitutivo del relé en parte emisora”	108
8.17 Anexo 17 “Módulos funcionando con una sola frecuencia de trabajo”.	109
8.17.1 Emisor	109
8.17.2 Receptor	109
9 REFERENCIAS	110

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1-EDIFICIO ACTUAL	14
FIGURA 1.2-CENTRO	15
FIGURA 1.3-DONCENTE TRABAJANDO CON ACTIVIDADES ESTIMULANTES PARA EL NIÑO	16
FIGURA 1.4-MÉTODO ANTIGUO	17
FIGURA 1.5- DISPOSITIVOS ACTUALES EN MERCADO.....	18
FIGURA 1.6-OBJETIVO A CONSEGUIR.....	19
FIGURA 1.7-DIAGRAMA GRANT	20
FIGURA 2.1-DIAGRAMA BLOQUES EMISOR.....	23
FIGURA 2.2 DIAGRAMA BLOQUES RECEPTOR 1	25
FIGURA 3.1-EMISOR 1	27
FIGURA 3.2-EMISOR BLOQUES.....	28
FIGURA 3.3-PULSADORES	28
FIGURA 3.4-PULSADOR UNIÓN EMISOR	29
FIGURA 3.5-RELÉ TQ2-5V.....	29
FIGURA 3.6-ESTRUCTURA INTERNA RELÉ.....	30
FIGURA 3.7- RELÉ NO ALIMENTADO	30
FIGURA 3.8- RELÉ ALIMENTADO	30
FIGURA 3.9-CD4046 CÓMO VCO.....	31
FIGURA 3.10-FRECUENCIAS TRABAJO PAREJAS DE DISPOSITIVOS	32
FIGURA 3.11-CONEXIONADO C0503.....	35
FIGURA 3.12- CONEXIONADO Y DISPOSICIÓN ANTENA EN EMISOR	35
FIGURA 3.13-CONMUTADOR GENERAL EMISOR	36
FIGURA 3.14- CÁLCULO CONSUMO EMISOR.....	36
FIGURA 3.15- PORTA PILAS EMISOR	37
FIGURA 3.16-RECEPTOR.....	38
FIGURA 3.17 RECEPTOR POR BLOQUES.....	39
FIGURA 3.18- RECEPTOR DATOS	39
FIGURA 3.19-CONEXIONADO Y DISPOSICIÓN ANTENA RECEPTOR	40
FIGURA 3.20-CONFIGURACIÓN FILTRO PASA BANDA RAUCH	41
FIGURA-3.21 VALORES COMPONENTES FILTRO PASA BANDA PARA PRIMER CONMUTADOR ELECTRÓNICO	45
FIGURA 3.22-FILTRO PASA BANDA	46
FIGURA 3.23-GANANCIA FILTRO A 100 HZ.	48
FIGURA 3.24- GANANCIA FILTRO A 200 HZ	49
FIGURA 3.25-ATENUACIÓN A 400 HZ	49
FIGURA 3.26-TL081 RECUPERACIÓN SEÑAL	50
FIGURA 3.27-TL081 COMPARADOR	50
FIGURA 3.28-DEMODULADOR CD4046	51
FIGURA 3.29-DEMODULADOR CD4046	51
FIGURA 3.30-FILTRO PASO BAJO	51
FIGURA 3.31-FUNCIÓN FO FRENTE VD	52

FIGURA 3.32-FUNCIÓN FO FRENTE VD (PUNTO A)	53
FIGURA 3.33-FUNCIÓN VD FRENTE FI	53
FIGURA 3.34-CONFIGURACION CD4046 CÓMO PLL.....	54
FIGURA 3.35-AMPLIFICADOR CORRIENTE.....	54
FIGURA 3.36-VD _{DEMO} CD4046	55
FIGURA 3.37-CONFIGURACION BC547B	55
FIGURA 3.38-7400.....	57
FIGURA 3.39-JUGUETE ACCIONAMIENTO JACK	58
FIGURA 3.40-UNIÓN RECEPTOR/DISPOSITIVO.....	58
FIGURA 3.41-TQ2-5V EN RECEPTOR ACTIVO.....	59
FIGURA 3.42-TQ2-5V EN RECEPTOR INACTIVO	59
FIGURA 3.43-CONMUTADOR GENERAL RECEPTOR 2D2C	59
FIGURA 3.44-ALIMENTACION RECEPTOR.....	60
FIGURA 3.45-CONSUMO RECEPTOR	60
FIGURA 3.65-PORTAPILAS RECEPTOR	61
FIGURA 3.47-EMISOR INTERIOR DE CAJA	62
FIGURA 3.48-EMISOR EN INTERIOR PELUCHE	62
FIGURA 3.49-SUJECCION EMISOR EN CAJA	63
FIGURA 3.50-TAPA DE CAJA EMISOR	63
FIGURA 3.51-CAJA DENTRO DE ESTRUCTURA INTERIOR PELUCHE	64
FIGURA 3.52-RESULTADO FINAL EMISOR	64
FIGURA 3.53-CAJA CONTENEDORA DE RECEPTOR	65
FIGURA 3.54-SUJECCIÓN CIRCUITO IMPRESO EN CAJA RECEPTOR	65
FIGURA 3.55-ESTRUCTURA RECEPTOR	66
FIGURA 3.56-RECEPTOR FINAL.....	66
FIGURA 4.1-CD4046 A F _{MAX} (VCOIN=VSS)	67
FIGURA 4.2-VISUALIZACIÓN SEÑAL GENERADA A F _{MAX}	67
FIGURA 4.3- CD4046 A F _{MIN} (VCOIN=VDD)	68
FIGURA 4.4- VISUALIZACIÓN SEÑAL GENERADA A F _{MIN}	68
FIGURA 4.5-FPB IMPLEMENTADO	69
FIGURA 4.6-GENERADOR FUNCIONES.....	69
FIGURA 4.7-VALORES EXPERIMENTALES A 108Hz.....	69
FIGURA 4.8-VALORES EXPERIMENTALES A 150Hz.....	70
FIGURA 4.9-VALORES EXPERIMENTALES A 202Hz.....	70
FIGURA 4.10-VALORES EXPERIMENTALES A 255Hz.....	71
FIGURA 4.11-RECUPERACION DE SEÑAL.....	71
FIGURA 4.12-PCB SIN PROTEGER	72
FIGURA 4.13-PCB AISLADA EN CAJAS MADERA.....	73
FIGURA 4.14-CONMUTADORES MONTAJE FINAL.....	73
FIGURA 4.15-EMISOR EN PELUCHE	74
FIGURA 4.16 CONMUTADOR GENERAL EMISOR.....	74
FIGURA 4.17-RECEPTOR EN CAJA FORRADO	75
FIGURA 4.18-ASPECTO VISUAL FINAL RECEPTOR.....	75
FIGURA 5.1-COSTES COMPONENTES EMISOR.....	76

FIGURA 5.2-COSTES COMPONENTES RECEPTOR	77
FIGURA 5.3-COSTES DE GESTIÓN	77
FIGURA 5.4-COSTES DE DISEÑO	77
FIGURA 5.5-COSTES DE COMPRAS.....	78
FIGURA 5.6-COSTES DE DOCUMENTACIÓN.....	78
FIGURA 5.7-COSTES DE FABRICACIÓN.....	78
FIGURA 5.8-COSTES DE PRUEBAS.....	79
FIGURA 5.9-OTROS COSTES.....	79
FIGURA 8.1-ESQUEMA BL1 EMISOR	83
FIGURA 8.2-ESQUEMA BL2 EMISOR	83
FIGURA 8.3-ESQUEMA BL3 EMISOR	84
FIGURA 8.4-ESQUEMA BL4 EMISOR	84
FIGURA 8.5- PLANO FOTO LÍTICO EMISOR	85
FIGURA 8.6-DIAGRAMA BLOQUES CD4046.....	87
FIGURA 8.7-DIAGRAMA BLOQUES VCO	87
FIGURA 8.8-DIAGRAMA BLOQUES COMPARADOR FASE II CD4046.....	89
FIGURA 8.9-TABLA DE VALORES NORMALIZADOS DE COMPONENTES EXTERNOS PARA MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN	90
FIGURA 8.10-C0503	92
FIGURA 8.11-PLANOS CAJA EMISORA	93
FIGURA 8.12 ESQUEMA BL1 RECEPTOR.....	94
FIGURA 8.13 ESQUEMA BL2 RECEPTOR.....	95
FIGURA 8.14 ESQUEMA BL3 RECEPTOR.....	95
FIGURA 8.15 ESQUEMA BL4 RECEPTOR.....	96
FIGURA 8.16 ESQUEMA BL5 RECEPTOR.....	96
FIGURA 8.17 ESQUEMA BL6 RECEPTOR.....	97
FIGURA 8.18 ESQUEMA BL7 RELÉ	97
FIGURA 8.19 ESQUEMA BL8 RECEPTOR.....	98
FIGURA 8.20-FOTOLITICOS RECEPTOR	99
FIGURA 8.21-C0504	100
FIGURA 8.22-PLANOS CAJA RECEPTOR	101
FIGURA 8.23-FPB CONMUTADOR INALÁMBRICO 1	102
FIGURA 8.24-FPB CONMUTADOR INALÁMBRICO 2	102
FIGURA 8.25-FPB CONMUTADOR INALÁMBRICO 3	103
FIGURA 8.26-FPB CONMUTADOR INALÁMBRICO 4	103
FIGURA 8.27-FPB CONMUTADOR INALÁMBRICO 5	103
FIGURA 8.28-FPB CONMUTADOR INALÁMBRICO 6	103
FIGURA 8.29-FPB CONMUTADOR INALÁMBRICO 7	103
FIGURA 8.30-ESQUEMA CODIFICADOR.....	104
FIGURA 8.31-ESQUEMA DECODIFICADOR.....	105
FIGURA 8.32-PRECIO EMISOR MEDIANTE MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN DE DATOS	106
FIGURA 8.33-PRECIO RECEPTOR MEDIANTE MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN DE DATOS	106

FIGURA 8.34-PRECIO EMISOR MEDIANTE CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DE DATOS	107
FIGURA 8.35-PRECIO RECEPTOR MEDIANTE CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DE DATOS	107
FIGURA 8.36-CIRCUITO SUSTITUTIVO RELÉ EN PARTE EMISORA	108
FIGURA 8.37-CIRCUITO EMISOR TRABAJANDO A UNA SOLA FRECUENCIA.	109

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El presente proyecto se destina a los alumnos discapacitados del Colegio de Educación Especial del Hospital San Rafael, situado en Serrano 199 Madrid.

El Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas de la Universidad Carlos III de Madrid colabora con el citado centro mediante la aportación de proyecto fin de carrera de los alumnos de la Escuela Politécnica Superior, cuyos proyectos se usan directamente en el funcionamiento diario del colegio, y personalmente con los alumnos del mismo.

En 1552 se funda el antiguo Hospital Nuestra señora del Amor de Dios, cerca de la calle Atocha, por el Hermano Antón Martín. En 1892 San Benito Menni fundó en Pinto el actual Hospital como asilo para raquíuticos y escrofulosos, con capacidad para 25 niños. Posteriormente se trasladó a Paseo de las Acacias en Madrid atendiendo a más de 1500 niños, cuya financiación del mismo provenía de donativos externos, más tarde a los Altos hipódromos en la carretera de Chamartín. Pero finalmente, en el año 1969, se trasladó a la calle Serrano, inaugurándose el edificio actual. Figura 1.1.



FIGURA 1.1-Edificio actual

Dentro del Hospital se encuentra un colegio concertado que atiende a alumnos plurideficientes motóricos, en funcionamiento desde 1976, y que, tras la remodelación de sus instalaciones y la renovación de su proyecto educativo, se encuentra perfectamente preparado para acoger a alumnos con serias dificultades motoras y cognitivas.

En él se da un tratamiento integral que abarca aspectos pedagógicos, motóricos, de comunicación, salud, alimentación, aseo e higiene.

El centro mostrado en la figura 1.2, actualmente cuenta con tres grupos de trabajo según las edades de los alumnos:

- Educación Infantil para alumnos entre 3 y 6 años.
- Educación Básica Obligatoria para alumnos entre 6 y 16 años.
- Programa de Transición a la Vida Adulta para alumnos entre 16 y 21 años.



FIGURA 1.2-Centro

Normalmente el centro acogía alumnos que presentasen parálisis cerebral, pero actualmente y cada vez con mayor frecuencia piden plazas alumnos afectados por “Enfermedades Raras” y “Síndromes Degenerativos”. En la figura 1.3 podemos ver el centro donde una docente trabaja con actividades estimulantes para el niño.



FIGURA 1.3-Doncente trabajando con actividades estimulantes para el niño

El personal del colegio está compuesto por:

- Profesores de Educación Especial.
- Pedagogas.
- Logopedas.
- Psicólogos.
- Fisioterapeutas.
- Profesor de Ayudas Técnicas.
- Auxiliares Técnico Educativos.
- Terapeuta Ocupacional.

Todas estas personas son las encargadas de hacerles un poquito más sencilla la vida a estos niños.

Esto es básicamente lo que se busca en el proyecto: intentar que los alumnos de este colegio puedan disfrutar de sus momentos de ocio como cualquier otra persona, y que puedan jugar con esos juguetes con los que todos hemos jugado sin que para ellos sea un impedimento, debido a sus disfunciones motoras.

Lamentablemente nunca ha interesado a los grandes empresarios realizar juguetes, ordenadores, televisiones, etc. adaptados a las personas que presentan discapacidades, básicamente porque no les interesa ya que el tanto por ciento de discapacitados en España apenas alcanza el 6% de toda la población, esto quiere decir que los empresarios los cuales buscan amasar grandes fortunas y realizan estudios de mercado cuidadosos, solo con este dato ya se dan cuenta de que no van a obtener grandes beneficios, por lo que no les interesa realizar este tipo de inversiones.

Para poder trabajar con los niños en su desarrollo y en el método causa efecto, las personas docentes del centro adaptaron los juguetes, para la manipulación de los mismos por los niños.

Esto lo que hicieron fue básicamente sacar de los mandos de los controles de los juguetes clavijas Jack 3,5 mm (hembra).

Estas clavijas eran conectadas a su correspondiente Jack 3,5 mm (macho), el cual mediante un cable larguísimo e incómodo llegaba al niño, el cual a través de una serie de pulsadores muy sensibles, conseguía la interacción con el juguete. El método empleado puede verse en la figura 1.4.



FIGURA 1.4-Método antiguo

A medida que iban implantándolo en los juguetes se iban dando cuenta de la incomodidad de la solución, además de la gran cantidad de cables tirados por el suelo, estorbando en medio de las habitaciones, lo cual impedía a la vez que dificultaba, la movilidad de personal docente. Por otro lado, cada alumno sufre una discapacidad motora distinta, de modo que solo pueden interactuar con los juguetes a través de un tipo de pulsador específico, siendo para un grupo de ellos un botón de presión, para otro un soplador, etc. Estos pulsadores ya están adaptados a cada alumno y el personal cuidador recomendaba no variar esta interfaz con respecto a cada alumno, pues es a la que ya estaba más acostumbrado y no requería de ningún tipo de adaptación adicional.

Lo que por una parte facilitaba la manipulación de los juguetes por parte de los niños, por otra dificultaba la movilidad por parte del personal docente, a la vez que impedía la manipulación de varios juguetes por varios niños a la vez.

1.2 Objetivos

El presente proyecto, tiene básicamente 2 finalidades:

- 1) Facilitar la manipulación de los juguetes por parte de los niños, que presentan disfunciones motoras, y a los cuales les cuesta realizar tareas cotidianas que habitualmente desempeña con normalidad cualquier niño que no presenta este tipo de disfunciones, como manipulación de ratones de ordenador, de juguetes con interruptores de activación, etc..

Ya que además de presentar disfunciones motoras suelen presentar disfunciones cognitivas, su principal método de aprendizaje es el denominado causa-efecto.

La ley de causa y efecto trata de que el niño relacione un evento anterior a otro e identifique en su razonamiento cognitivo que uno es la causa del otro, que es el efecto.

- 2) Buscar alternativas a empresas que actualmente comercializan con este tipo de dispositivos, como se muestra en la figura 1.5, y que es habitual que se aprovechen de la situación de estas personas poniendo precios desorbitados a sus productos ya que carecen de competidores en ese segmento del mercado en el que se mueven.



FIGURA 1.5- Dispositivos actuales en mercado.

Estos dispositivos tienen un precio de venta de más de 170 €, algo desorbitado para un simple mando a distancia, si bien son muy robustos, aunque su alcance no supera los 10 metros [1].

Para ello va a realizarse el diseño de un emisor y receptor de radio frecuencia, los cuales permitan mediante unas pequeñas modificaciones (llamadas en este ámbito de la tecnología de la discapacidad “adaptaciones”) en los aparatos a controlar ser activados a distancia, con los pulsadores que ya se encuentran adaptados a cada alumno del hospital, evitando de esta manera el cableado de los juguetes anteriores, lo cual dificultaba mucho las actividades

del personal docente del hospital, y permitiendo la sustitución de los antiguos pulsadores.

1.3 Descripción general del sistema

Se trata de realizar el desarrollo de conmutadores inalámbricos de radiofrecuencia, para que los alumnos del centro puedan aumentar el uso de actividades sin cableado que impida tanto a niños como a personal docente la movilidad por los recintos del colegio.

Estos conmutadores inalámbricos deben de adecuarse a los antiguos pulsadores que presentaban los alumnos del centro, ya que como se ha comentado al presentar dificultades motoras cada uno tiene pulsadores distintos, pero todos los pulsadores presentan la misma conexión al aparato a controlar, que son salidas Jack, con lo cual nos apoyaremos en esto para poder realizar parejas de emisores y receptores universales que puedan utilizar cualquier tipo de alumno indistintamente de la dificultad motora que presente. Siguiendo las directrices del Diseño para Todos [2], se interactuará siempre que se pueda y en todas las fases del proyecto con el personal docente, así como con los propios alumnos, a fin de definir y conseguir la ayuda más correcta.

Como se trata de sustituir los antiguos métodos de interacción de los niños con los juguetes los cuales presentaban largos cableados, por métodos inalámbricos, la idea básica se muestra en la figura 1.6.

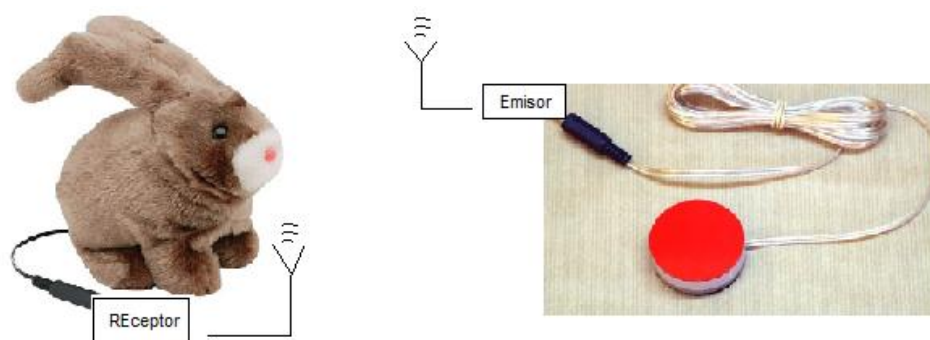


FIGURA 1.6-Objetivo a conseguir

Para ello se van a realizar parejas de emisores y receptores universales, que puedan implementarse en cualquier tipo de dispositivo modificado para el caso.



Su proceso temporal de desarrollo se muestra en la figura 1.7, donde podemos observar, los límites temporales establecidos en cada parte de desarrollo del proyecto.

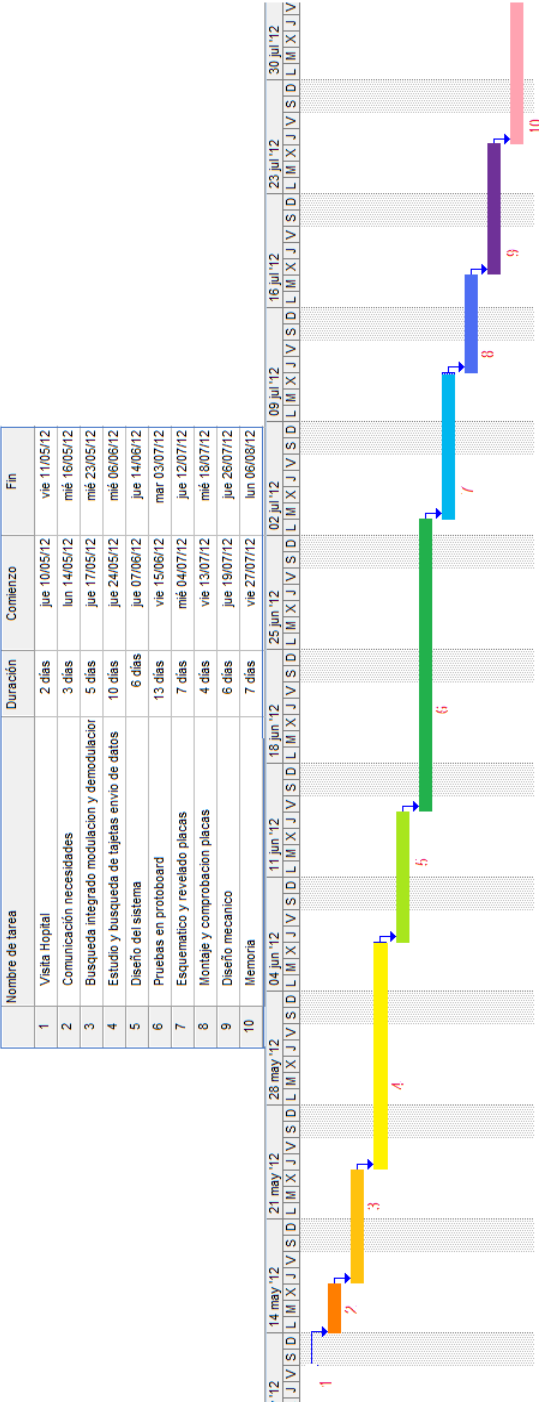


FIGURA 1.7-Diagrama Grant



- 1) **Visita hospital.** Conocimiento de entorno de trabajo donde se va a implementar el proyecto a desarrollar.
- 2) **Comunicación necesidades.** Adquisición de ideas, necesidades por parte del personal docente del centro.
- 3) **Búsqueda integrado modulación y demodulación.** Búsqueda de integrado a implementar en desarrollo del proyecto que cumpla las necesidades especificadas.
- 4) **Estudio y búsqueda tarjetas envió de datos.** Búsqueda de tarjetas emisoras y receptoras de radiofrecuencia para datos digitales.
- 5) **Diseño del sistema.** Realización del diseño electrónico.
- 6) **Pruebas en protoboard.** Comprobación del funcionamiento electrónico diseñado con anterioridad.
- 7) **Esquemático y revelado de placas.** Realización de los esquemas electrónicos y revelado de las PCB`s.
- 8) **Montaje y comprobación placas.** Soldadura componentes en PCB`s y comprobación del correcto funcionamiento de las mismas.
- 9) **Diseño mecánico.** Realización diseño mecánico.
- 10) **Memoria.** Redacción de documentación necesaria.

2. SISTEMA PROPUESTO

El sistema propuesto son parejas de emisores y receptores los cuales deben de interactuar entre ellos. La parte emisora la llevarán los alumnos del centro que interactúen con ella, y la parte receptora interactuará directamente con los juguetes o dispositivos a controlar.

Se ha elegido una transmisión de datos digitales FSK [3] por sus innumerables ventajas frente a la transmisión analógica entre ellas:

1. Un sistema digital permite flexibilidad.
2. Permiten mejor control.
3. Hardware digital más barato.
4. La señal digital permite la multi-generación idealmente infinita sin pérdidas de calidad.
5. Están mejores equipados para evaluar detección y corrección de errores.
6. Fácil procesamiento de la señal.
7. Inmunidad al Ruido.
8. Almacenamiento y procesamiento.
9. Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar.
10. Los equipos digitales consumen menos potencia.

La transmisión de datos se va a realizar a 433 MHz y no a 868 MHz debido a:

1. Son frecuencias utilizadas en aplicaciones de baja potencia.
2. Consumo de los sistemas menor que transmisión a 868 MHz.
3. Los sistemas resultan en general tener un coste menor.

Como se va a transmitir datos en formato digital, se hace necesario que los dispositivos funcionen mediante la modulación y demodulación de datos binarios, donde la señal modulada en el emisor será transmitida al receptor que será el encargado de demodular la señal y tratarla.

El sistema se va a dividir pues en dos partes claramente diferenciadas:

- Emisor
- Receptor

2.1 Parte emisora

Es la parte con la que los niños del colegio van a interactuar, una serie de pulsadores que ya usaban y cuya señal de salida se acondicionará convenientemente en este proyecto va a ser la encargada de controlar esta parte. El diagrama de bloques del emisor puede observarse en la figura 2.1.

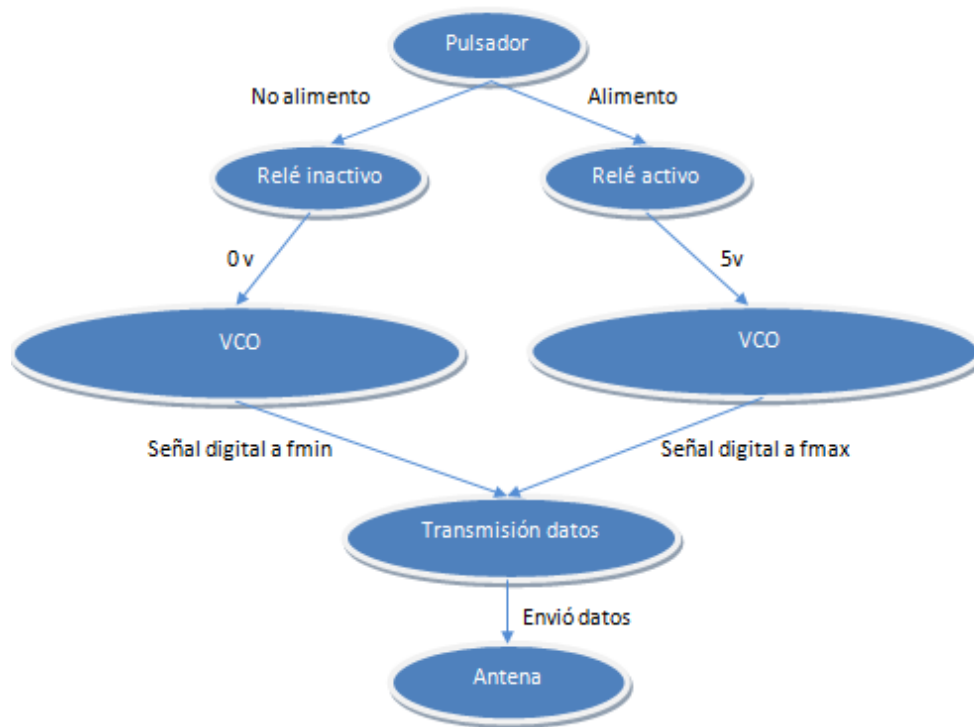


FIGURA 2.1-Diagrama bloques emisor

Si el pulsador no está accionado se generará una onda cuadrada de frecuencia mínima por el emisor, por el contrario si se encuentra accionado se generará una onda cuadrada de frecuencia máxima.

Los pulsadores presentan ya unas salidas en forma de Jack 3,5 mm, que se aprovechará para acoplarse directamente al emisor. De esta manera podremos accionar el relé, que será el encargado de transmitir el voltaje deseado al VCO, a partir de sus 2 subcircuitos internos.

Si el pulsador no está accionado se generará una onda cuadrada de frecuencia mínima por el emisor, por el contrario si se encuentra accionado se generará una onda cuadrada de frecuencia máxima.

Los pulsadores presentan ya unas salidas en forma de Jack 3,5 mm, que se aprovechará para acoplarse directamente al emisor. De esta manera podremos accionar un relé, que será el encargado de transmitir el voltaje deseado a un oscilador controlado por tensión o VCO, a partir de sus 2 subcircuitos internos, generando la señal adecuada:

- Si no está accionado el pulsador, el relé, no estará alimentado, por lo que su salida corresponderá con uno de los 2 subcircuitos internos, que hará que entregue al VCO una tensión de 0 V, generando una onda cuadrada de frecuencia mínima.
- Si por el contrario se encontrase accionado, el relé se activará y dará la salida del otro subcircuito interno, entregando al VCO una tensión de 5 V y generando así una onda cuadrada de frecuencia máxima.

Por último las señales serán enviadas a través de la tarjeta o módulo emisor, que se va a encargar de enviarlas a través de una portadora de 433 MHz. Estas tarjetas son de envío de datos, es decir que podemos enviar señales cuadradas sin ningún tipo de problema siempre y cuando se encuentren dentro de los valores lógicos a los que está alimentada la tarjeta, en nuestro sistema entre 0 V y 5 V.

2.2 Parte receptora

Es la parte encargada de interactuar con los dispositivos electrónicos. El control será realizado a través de una salida Jack macho 3,5 mm (condiciones impuestas por el personal del centro). El diagrama de bloques del receptor puede observarse en la figura 2.2.

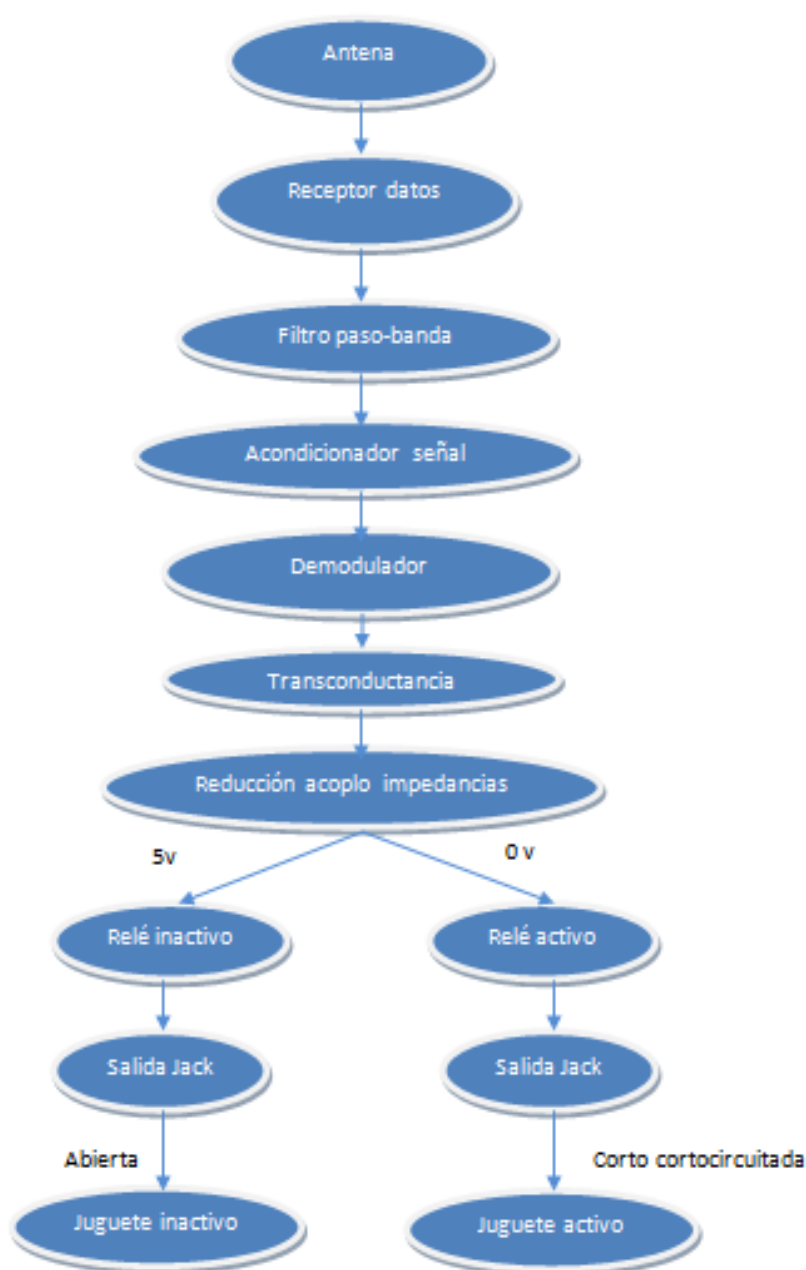


FIGURA 2.2 Diagrama bloques receptor 1

Como va a recibir todas las señales de su entorno, y lo que se pretende es asignar a cada receptor un emisor diferente, se realiza aquí un filtrado pasa banda de la señal. Este filtro es de elevada calidad y muy selectivo, evitando

así las interferencias que puedan ocasionar otra pareja de emisores y receptores.

Una vez que las señales son filtradas a través del filtro pasa banda, serán acondicionadas para tener así la señal inicial que recibe el receptor. Esto se va a realizar con un A.O. en modo comparador, debido a que la señal filtrada además de atenuada es sinusoidal, y por lo tanto mediante este comparador, va a recuperar la forma cuadrada además de adaptarla a los niveles lógicos necesarios para la posterior demodulación.

Una vez recuperada la señal, se demodula a través de un demodulador configurado como PLL, de esta manera se consigue recuperar los valores lógicos iniciales con los que fueron moduladas las señales recibidas.

La señal demodulada, presenta poca intensidad, con lo que es imposible actuar directamente sobre el relé, por eso se utiliza un transistor, empleado como transconductancia, consiguiendo de esta manera un nivel de tensión adecuado para actuar sobre el relé.

Una vez amplificada en corriente, para estabilizar la señal se la introduce en una puerta lógica de esta manera se reduce el acople de impedancias para poder actuar sobre el relé.

Si el relé está activo, se activará el subcircuito interno del mismo que cortocircuitará la salida Jack, activando el dispositivo electrónico a controlar.

Si por el contrario el relé está inactivo, la salida Jack permanecerá abierta, y por lo tanto no actuará sobre el dispositivo electrónico a controlar.

3 ELEMENTOS DEL SISTEMA

En este capítulo se va a discutir la elección de cada uno de los componentes, así como la función que desempeñan cada uno de ellos. El material e instrumental necesario para la implementación del sistema se encuentra detallado en el anexo 1.

3.1 Electrónicos

3.1.1 Emisor

La parte emisora es la encargada de enviar la señal sobre una portadora de 433 MHz, esta es la parte con la que interactúan los alumnos del colegio, para poder manipular aparatos electrónicos a distancia. En la Figura 3.1, se puede ver el emisor. Sus esquemas eléctricos y fotolíticos se encuentran detallados en los anexos 2 y 3 respectivamente.

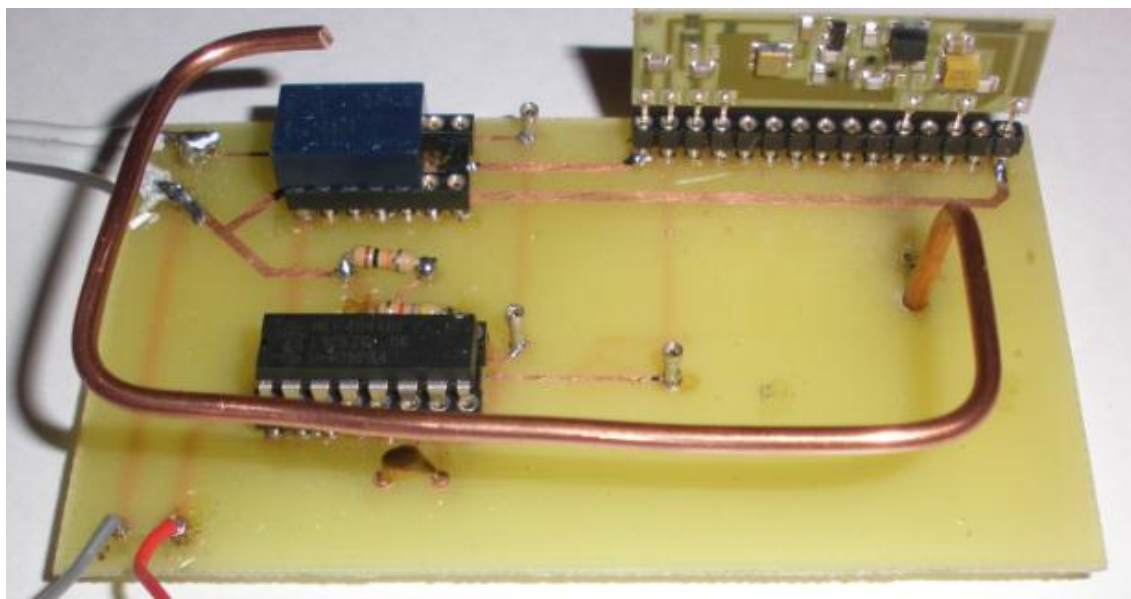


FIGURA 3.1-Emisor 1

El emisor se divide en los siguientes bloques, detallados en la Figura 3.2:

- BL1: Acople pulsador y relé.
- BL2: CD4046 (actuando como VCO).
- BL3: C0503 (Emisor de datos) y antena emisora.
- BL4: Alimentación.

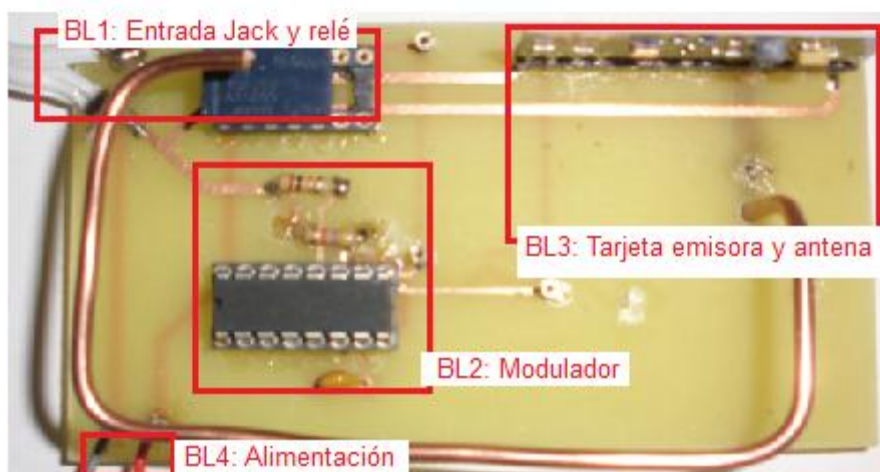


FIGURA 3.2-Emisor bloques

3.1.1.1 BL1: Acople pulsador y relé.

Fue condición necesaria, partir de los pulsadores que se presentan en el colegio, como se puede observar en la figura 3.3, presentan una salida Jack macho 3,5 mm, y un robusto área de actuación.

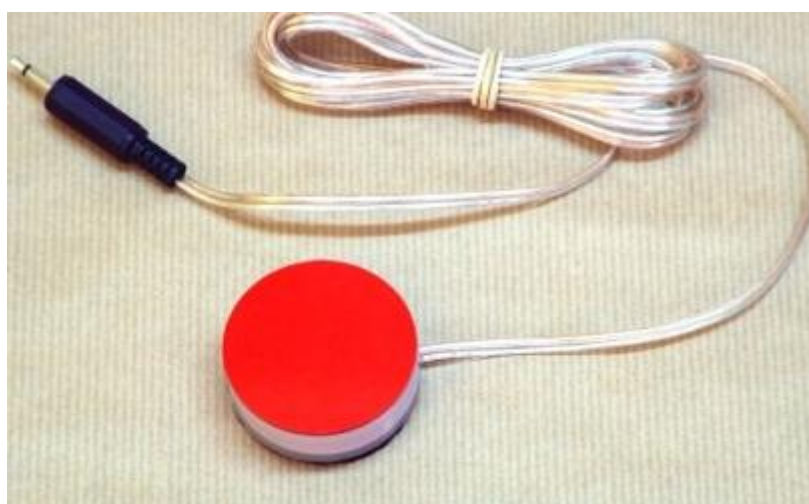


FIGURA 3.3-Pulsadores

Su elevado área se debe básicamente a las necesidades de las personas que lo utilizan como:

- Personas sin movilidad en las manos.
- Personas con movilidad imprecisa en las manos.
- Personas con temblores o movimientos espásticos.
- Personas que no pueden utilizar ningún ratón y necesitan acceder por barrido.
- Personas que necesitan controlar un ratón con otra parte del cuerpo distinta de la mano, como la mandíbula o la barbilla.

Por lo tanto la entrada a la parte emisora va a ser un Jack 3,5 mm hembra que va a ser el encargado de la unión entre los pulsadores usados en el colegio y la parte emisora (figura 3.4).

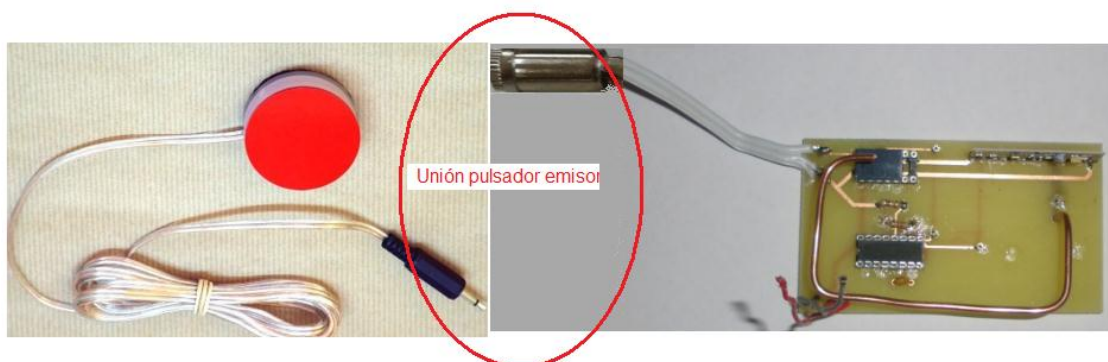


FIGURA 3.4-Pulsador unión emisor

Partiendo de esa condición se hizo necesaria la implantación de un relé, que presente 2 circuitos internos, entregando así distintas tensiones al siguiente bloque (modulador), en función de cómo se encuentre el pulsador.

Se ha elegido el relé TQ2-5V, básicamente por:

- Su bajo consumo de potencia aproximadamente 80 mW.
- Su tamaño 14.0 (L) × 9.0 (W) × 5.0 (H), consiguiendo una mayor optimización del espacio disponible.
- Su elevada fiabilidad debido al uso de oro revestido en los contactos.

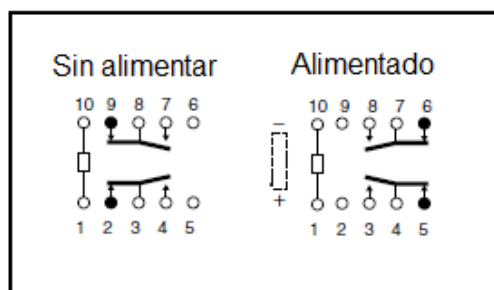
En la figura 3.5 se muestra el mismo, y sus características se encuentran detalladas en el anexo 4.



FIGURA 3.5-Relé TQ2-5V

El funcionamiento del relé es el siguiente:

Si el relé no está alimentado se producirá la unión de los pines 9 y 8, por el contrario si se encuentra alimentado y funcionando se producirá la unión de los pines 8 y 7, como podemos observar en la figura 3.6



El conexionado del relé, para enviar distintas tensiones de entrada al modulador será el siguiente:

Si el pulsador no está pulsado, la salida del relé presentará 0 V, su situación será la mostrada en la figura 3.7

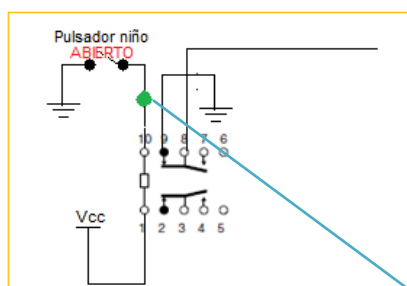


FIGURA 3.7- Relé no alimentado

Si el pulsador se encuentra pulsado la salida del relé presentara 5 V, su situación será la mostrada en la figura 3.8

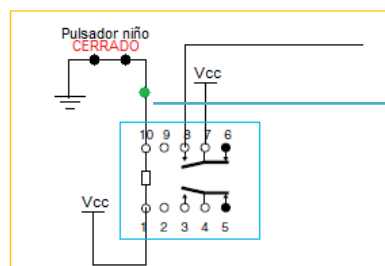


FIGURA 3.8- Relé alimentado

Conexionado pulsador con emisor mediante Jack 3,5mm

3.1.1.2 BL2: CD4046 (Actuando como VCO).

Como modulador hemos elegido el integrado CD4046 [4], debido a su bajo consumo, a su elevado rango de frecuencias de trabajo, a que puede utilizarse como modulador y como demodulador, y a que su precio es muy bajo.

Utilizado en la parte emisora como un oscilador de frecuencia controlada por tensión, cuyas características se encuentran detalladas en el anexo 5, este circuito va a ser el encargado de generar una señal cuadrada en función de los componentes externos acoplados al mismo (R_1, R_2, C_1) y del nivel de tensión aplicado en la entrada del mismo. En la figura 3.9 se muestra el conexionado del integrado CD4046 utilizado como oscilador de frecuencia.

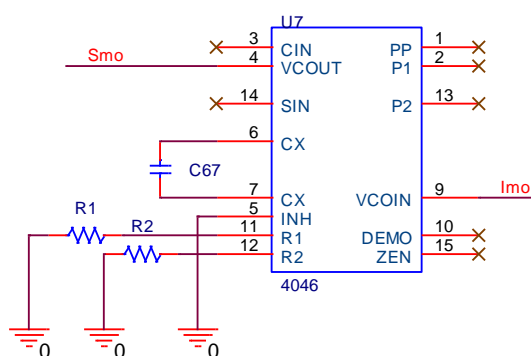


FIGURA 3.9-CD4046 cómo VCO

Las frecuencias mínimas y máximas de trabajo de cada conmutador inalámbrico (entendiéndose por conmutador inalámbrico: emisor asociado a un receptor) se establecen en función del rango de frecuencias con las que la tarjeta emisora y receptora de datos son capaces de trabajar, ya que es limitado, dependiendo de la receptora, que presenta una salida máxima de onda cuadrada a 2 KHz. Más adelante se hablará de este rango.

Las frecuencias de trabajo establecidas para cada conmutador inalámbrico son las mostradas en la Figura 3.10, dividiendo el espectro disponible de modo que queden equiespaciadas.

Conmutador inalámbrico	Frecuencias(Hz)	
	Mínima	Máxima
1	100	200
2	400	500
3	700	800
4	1000	1100

5	1300	1400
6	1600	1700
7	1900	2000

FIGURA 3.10-Frecuencias trabajo parejas de dispositivos

Como se puede observar la primera pareja de conmutadores inalámbricos empieza a partir de 100 Hz, esto se ha realizado para evitar interferencias provenientes de la red eléctrica, que presenta una frecuencia de 50 Hz.

Tanto si el pulsador está activo como si no lo está, se envían señales de forma continua de modo que en la parte receptora se pueda interpretar las señales recibidas como se explicará posteriormente.

La última pareja de conmutadores inalámbricos finaliza a una frecuencia de 2 KHz. Como se ha comentado se debe a que la tarjeta receptora de datos se encuentra limitada a 2 KHz.

Estos módulos son sustituibles, por otros con mayor rango de frecuencias como los transmisores C-0513 [5] y receptores C-0514 [6] a 868 MHz, si se necesitasen más parejas de dispositivos, ya que el conexionado es el mismo y su salida de datos en receptor (que es la parte limitadora) presenta una salida de hasta 3 KHz, lo que implica según el equiespaciado de la figura 3.10, un incremento de 4 conmutadores inalámbricos.

Las frecuencias anteriores pueden ser obtenidas a partir de los valores de los componentes conectados al CD4046, a través de las siguientes fórmulas obtenidas a partir de las hojas de características del integrado CD4046 (también pueden calcularse a partir de las gráficas presentes en las mismas, pero a título orientativo ya que al ser tan pequeñas es difícil obtener valores mejores que un poco aproximados).

$$f_{min} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32pF)} \longrightarrow V_{coinput} = V_{ss}$$

$$f_{max} = \frac{1}{R_1(C_1 + 32pF)} - f_{min} \longrightarrow V_{coinput} = V_{dd}$$

Donde las resistencias y condensadores deben estar entre los siguientes valores:

$$10K\Omega \leq R_1 \text{ y } R_2 \leq 1M\Omega$$

$$10pF \leq C_1 \leq 0,01\mu F$$

Estos valores de resistencias y condensadores son utilizados para que el consumo del modulador sea el mínimo. No por ello es restrictivo pudiendo utilizar otros componentes de distintos valores, pero no aseguraríamos el consumo mínimo del integrado.

Ejemplo cálculo desarrollado 2ª parejas de conmutadores inalámbricos:

1º Elegimos el condensador dentro de los valores indicados anteriormente:

$$C = 100nF$$

2º Realizamos el cálculo de los componentes externos que nos van a fijar la frecuencia de modulación:

$$f_{min} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32pF)} = 400 \rightarrow$$

$$R_2 = \frac{1}{400(100 \cdot 10^{-9} + 32 \cdot 10^{-12})} = 25K\Omega \rightarrow$$

Valor normalizado $R_2 = 27K\Omega$

$$f_{max} = \frac{1}{R_1(C_1 + 32pF)} - f_{min} = 500 \rightarrow$$

$$R_1 = \frac{1}{(500 - 400)(100 \cdot 10^{-9} + 32 \cdot 10^{-12})} = 100K\Omega$$

A la hora de escoger valores normalizados siempre se escogerán valores superiores a los teóricos para el cálculo de R_2 e inferiores para el cálculo de R_1 , de esta manera se consigue no salirse del rango establecido anteriormente para cada pareja de conmutadores inalámbricos.

Por ejemplo con el valor normalizado de $R_2 = 27 K\Omega$ la frecuencia de modulación será:

$$f_{min} = \frac{1}{270000(100 \cdot 10^{-9} + 32 \cdot 10^{-12})} = 370 Hz$$

En el anexo 6 podemos encontrar los valores calculados y normalizados de los componentes externos necesarios para que cada emisor, trabaje a la frecuencia establecida, en un principio.

Con esto vamos a obtener un oscilador de frecuencia en función de la tensión de entrada VCO_{in} .

3.1.1.3 BL3: C-0503 y antena emisora.

Para la transmisión de datos se ha elegido el módulo Cebek C-0503, que se trata de un transmisor SAW con antena exterior, ideal para aplicaciones en las que se desea transmitir datos digitales.

Este módulo ha sido elegido básicamente por su fácil implantación y por la facilidad de conseguirlo. En un principio se barajó la posibilidad de utilización del módulo HM-T433 [7], pero estos son imposibles de conseguir en España y tardan varios meses en conseguirse debido a su alta demanda.

Las diferencias del módulo HM-T433 respecto al Cebek C-0503 son:

- Son más pequeños:
 - HM-T433: 27,3x16,2x1,2mm.
 - Cebek C05053:38,1x13,2x3mm.
- Distancia mayor del envío de datos (aunque irrelevante en un entorno como el de trabajo):
 - HM-T433: 240m.
 - Cebek C05053:100m.
- Precio
 - HM-T433: 4,25 €.
 - Cebek C05053:7,7 €.
- Rango de frecuencias, para una tensión de alimentación de 5 V
 - HM-T433: 9KHz
 - Cebek C05053:3KHz.

La única desventaja que presenta el modulo emisor de datos HM-T433 frente al Cebek C0503 es el consumo de corriente, que es de 9 mA frente a 7,5mA respectivamente. No obstante, las diferencias son asumibles en este proyecto y consensuadas con el centro.

Este módulo emisor va a ser el encargado de trasmitir los datos, en nuestro caso señales cuadradas, a la parte receptora, mediante una portadora de 433 MHz. En el anexo 7 podemos encontrar sus características detalladas.

El módulo adapta la señal cuadrada para que sea enviada sobre la portadora, es decir que si las señales que entran se encuentran sobre una portadora distinta a 433 MHz este módulo las acondiciona para poder enviarlas. El conexionado del módulo emisor se indica en la figura 3.11.

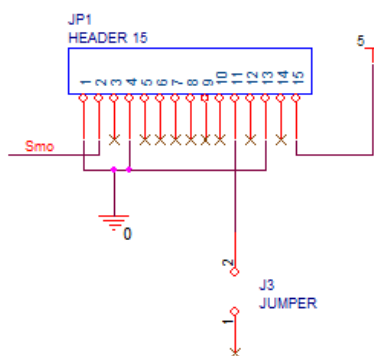


FIGURA 3.11-Conexionado C0503

La antena es un factor fundamental de la comunicación entre emisor y receptor, y va a estar colocada como se indica en la 3.12 consiguiendo así una optimización del espacio.

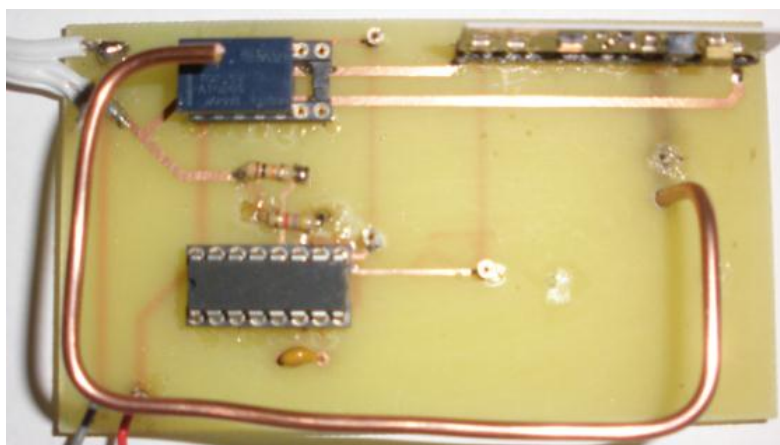


FIGURA 3.12- Conexionado y disposición antena en emisor

El material de la antena es de cobre [8], de aproximadamente unos 10 cm de longitud y de 3 mm de diámetro.

Para que no se produzcan cargas estáticas todo el emisor va a ir en una estructura de madera de balsa. Sus planos se encuentran detallados en el anexo 8, evitando así que las personas puedan interferir con las cargas estáticas en el circuito.

3.1.1.4 BL4: Alimentación.

La fuente de alimentación de la parte emisora será activa por un conmutador general como el que se indica en la figura 3.13, el cual se va a encargar de alimentar el circuito.



FIGURA 3.13-Conmutador general emisor

El emisor necesita una alimentación de 5 V. Para conocer los requisitos de la alimentación que se debe emplear se va a estudiar el consumo de la parte emisora, para además estimar la duración aproximada de las baterías a usar.

Para ello se conecta la parte emisora a la fuente de alimentación y mediante la ayuda de un amperímetro colocado en serie con una de las entradas de alimentación (figura 3.14), vemos que el consumo máximo es de unos 38 mA.



FIGURA 3.14- Cálculo consumo emisor

Por lo tanto usaremos 4 pilas de 1,5 V (R03), a 2500 mAh, que darán una tensión 0 V y 6 V. Con esto podemos hacer una estimación de la duración de vida útil.

$$Vida\ util = \frac{2500mAh}{38mA} = 65\ horas$$

Por lo tanto podremos establecer una transmisión de datos de 65 horas idealmente.

Pero el circuito requiere una alimentación de 5 V y 0 V. Estas tensiones se obtienen a partir del divisor de tensión resistivo, desarrollado a continuación y su conexionado se muestra en la figura 3.15:

$$V_{out(5V)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in(6V)} \rightarrow \frac{5}{6} R_1 = \frac{1}{6} R_2 \rightarrow 5R_1 = R_2$$

$$R_1 = 5 K\Omega$$

$$R_2 = 1 K\Omega$$

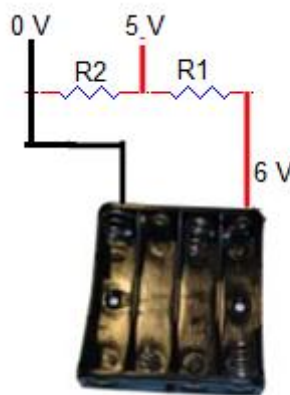


FIGURA 3.15- Porta pilas emisor

Inicialmente se planteó la posibilidad de utilizar el regulador de tensión 7805 pero se descartó debido a que su tensión de entrada debe ser como mínimo 7 V, para garantizar una tensión constante a la salida de 5 V.

El consumo en vatios será:

$$P = I * V = 38 * 10^{-3} * 5 = 190[mW]$$

3.1.2 Receptor

La parte receptora, mostrada en la figura 3.16, es la encargada de recibir la señal modulada o datos sobre una portadora de 433 MHz. Esta es la parte que interactúa con el dispositivo electrónico a controlar. Sus esquemas eléctricos y fotolíticos se encuentran detallados en los anexos 9 y 10 respectivamente.

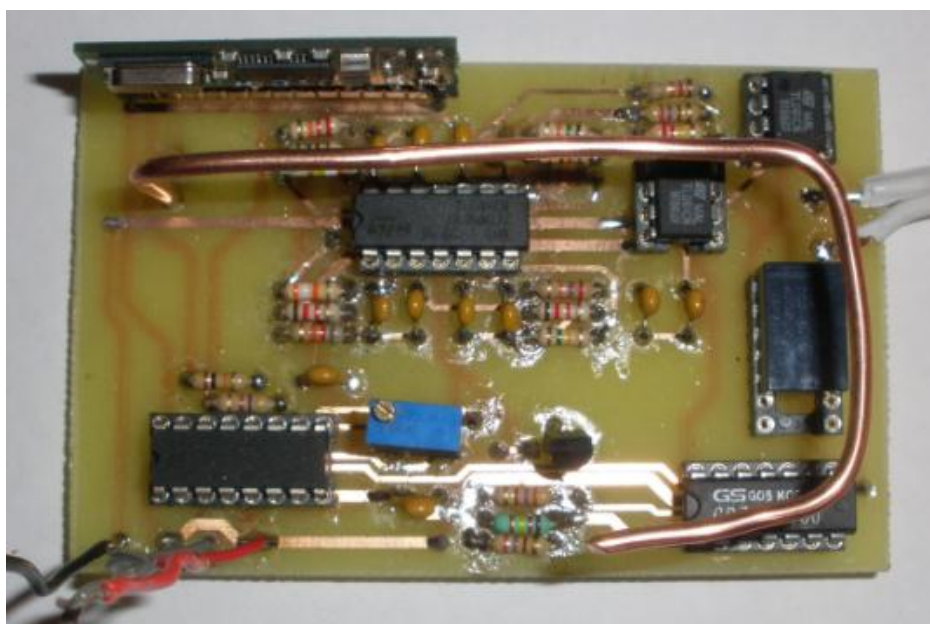


FIGURA 3.16-Receptor

El receptor se divide en los siguientes bloques, en la figura 3.17 podemos visualizarlos:

- BL1: C0504 (Receptor de datos) y antena.
- BL2: Filtro pasa banda.
- BL3: Recuperación de señal o información.
- BL4: Demodulación (CD4046), mediante PLL.
- BL5: Amplificador de transconductancia.
- BL6: Reducción acople impedancias.
- BL7: Relé (TQ2-5V) y salida Jack 3mm macho.
- BL8: Alimentación.

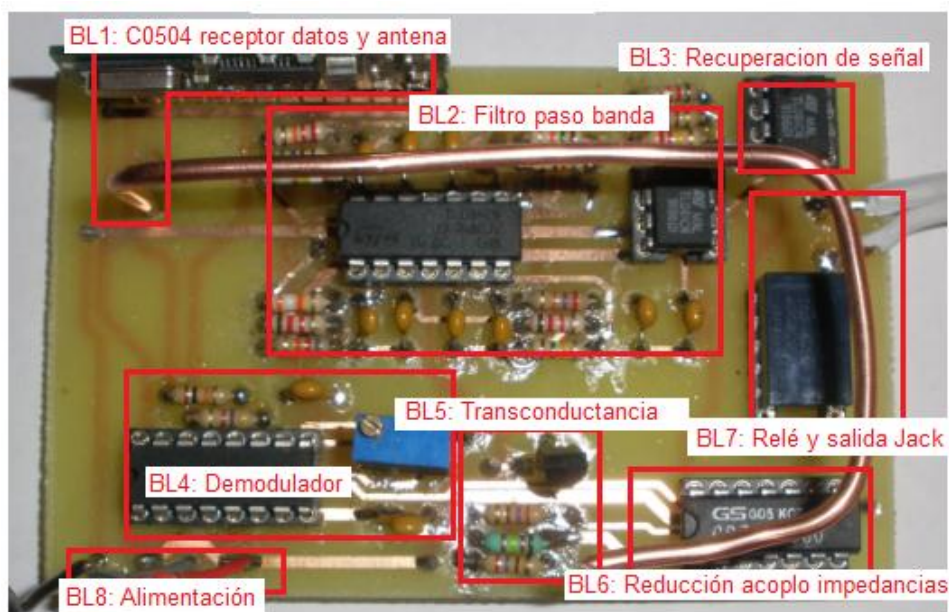


FIGURA 3.17 Receptor por bloques

3.1.2.1 BL1: C-0504 y antena.

Se ha elegido como receptor de datos el módulo Cebek C-0504, mostrado en la figura 3.18 debido a: la baja absorción, alta inmunidad al ruido de alimentación y radiación en antena, su fácil implantación y por la facilidad de conseguirlos, este módulo como se indicó en la parte emisora podría sustituirse por el modulo HM-R433S [9], cuyas ventajas son las mismas que las mencionadas con anterioridad. Las características del módulo C-0504 se encuentran detalladas en el anexo 11.

Este módulo es el encargado de recibir los datos digitales a 433 MHz, para posteriormente filtrarlos.

Básicamente recibe todos los datos digitales que se encuentren sobre una portadora de 433 MHz, con lo que va a ser muy importante la siguiente etapa que es la etapa de filtrado, para seleccionar las frecuencias deseadas, discriminando así las no deseadas.

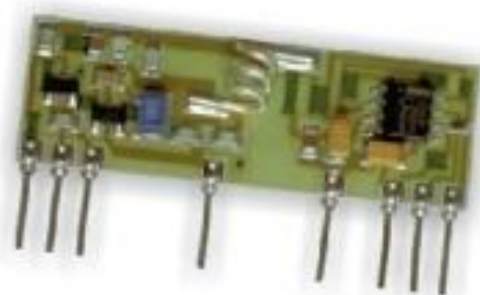


FIGURA 3.18- Receptor datos

La antena es un factor fundamental de la comunicación entre emisor y receptor, y va a estar colocada cómo se indica en la figura 3.19, optimizando así el espacio.

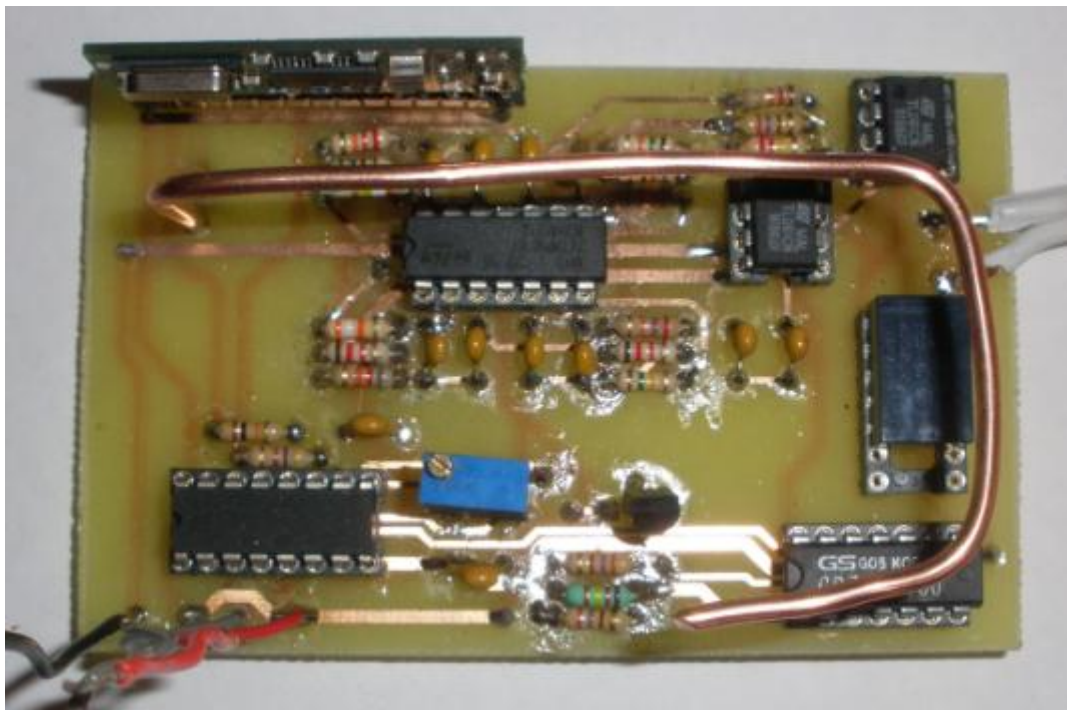


FIGURA 3.19-Conexionado y disposición antena receptor

El material de la antena es de cobre, de aproximadamente unos 10 cm de longitud y de 3 mm de diámetro.

Para que no se produzcan cargas estáticas todo el receptor va a ir en una estructura de madera de balsa, cuyas medidas y forma se encuentran detalladas en el anexo 12, evitando así que las personas puedan interferir con las cargas estáticas en el circuito.

3.1.2.2 BL2: Filtro paso-banda.

Dado que el receptor de datos C-0504, va a recibir todas las señales, digitales que se encuentren sobre una portadora de 433 MHz, es de vital importancia filtrar las señales deseadas, y rechazar las señales digitales no deseadas.

De manera que a la hora de realizar el diseño del filtro debemos de ser extremadamente cautelosos ya que la separación entre parejas de conmutadores inalámbricos es solo de 200 Hz, por lo que de no ser bien filtradas, podrían darse interferencias entre distintas parejas de conmutadores inalámbricos.

Para ello empleamos un filtro de segundo orden cuya topología empleada en el filtro pasa banda es la llamada Rauch o de retro alimentación múltiple con resonancia Chebyshev [10].

Esta configuración ha sido elegida por que estos filtros pasa banda son utilizados para banda estrecha, como nuestras parejas de conmutadores inalámbricos cuya banda es nada más que de 100 Hz.

Presenta ganancia a frecuencia cero negativa, por lo tanto, se produce un desfase de 180° entre la salida y la entrada a frecuencias menores que la de corte. La configuración del filtro se muestra en la figura 3.20.

Este filtro es de segundo orden por lo que presentan pendientes de atenuación de -40dB/dec.

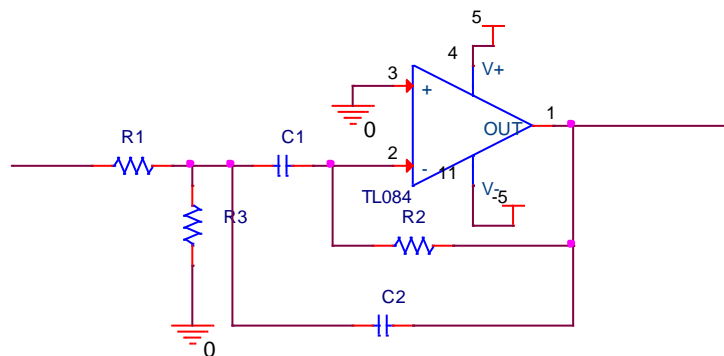


FIGURA 3.20-Configuración filtro pasa banda Rauch

Para que el filtrado sea abrupto vamos a realizar un filtro de orden superior poniendo 5 amplificadores operacionales, en configuración Rauch en cascada, con lo que la atenuación será 200 dB/dec. El cálculo de estos debe realizarse a distintas frecuencias centrales dentro del intervalo de trabajo. Por ello se realizarán cálculos de configuraciones en incrementos de 25 Hz de la frecuencia inferior hasta la superior, para cada pareja de conmutadores inalámbricos.

A continuación vamos a proceder a realizar el cálculo desarrollado del filtro paso banda empleado para el primer conmutador inalámbrico, es decir un filtro pasa banda entre 100 Hz y 200 Hz. En el anexo 13 podemos los valores de los componentes externos para los filtro pasa banda correspondientes a todas las parejas de dispositivos.

Las ecuaciones [10] necesarias para su cálculo son:

$$Q = \frac{f_m}{f_2 - f_1} \rightarrow \text{Calidad del filtro}$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} \rightarrow \text{Frecuencia central}$$

$$A_m = \frac{-R_2}{2R_1} \rightarrow \text{Ganancia}$$

$$Q = \pi C f_m R_2 \rightarrow \text{Calidad del filtro}$$

$$C_1 = C_2$$

La ganancia para el cálculo del filtro pasa banda será -1 para todos los A.O., para obtener a la salida una ganancia unidad positiva ya que esta configuración presenta ganancia negativa a su salida.

Primer A.O (centrado en 100 Hz)

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$$

$$Q = \frac{f_m}{f_2 - f_1} = \frac{100}{200 - 100} = 1$$

$$Q = 2\pi C f_m R_2 \rightarrow R_2 = \frac{Q}{\pi C f_m} = \frac{1}{\pi * 10 * 10^{-9} * 100} = 318 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

$$\text{Valor Normalizado } R_2 = 390 \text{ K}\Omega$$

$$A_m = \frac{-R_2}{2R_1} \rightarrow R_1 = \frac{-R_2}{2A_m} = \frac{-390 * 10^3}{2 * -1} = 195 \text{ K}\Omega \rightarrow \text{Valor Normalizado } R_1 = 220 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} \rightarrow R_3 = \frac{R_1}{(2\pi C f_m)^2 * R_1 R_2 - 1} =$$

$$= \frac{220 * 10^3}{(2\pi * 10 * 10^{-9} * 100)^2 * 220 * 10^3 * 390 * 10^3 - 1} = 92 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

$$\text{Valor Normalizado } R_3 = 100 \text{ K}\Omega$$

Segundo A.O (centrado en 125 Hz)

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$$

$$Q = \frac{f_m}{f_2 - f_1} = \frac{125}{200 - 100} = 1,25$$

$$Q = 2\pi C f_m R_2 \rightarrow R_2 = \frac{Q}{\pi C f_m} = \frac{1,25}{\pi * 10 * 10^{-9} * 125} = 318 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

Valor Normalizado $R_2 = 390 \text{ K}\Omega$

$$A_m = \frac{-R_2}{2R_1} \rightarrow R_1 = \frac{-R_2}{2A_m} = \frac{-390 * 10^3}{2 * -1} = 195 \text{ K}\Omega \rightarrow \text{Valor Normalizado } R_1 = 220 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} \rightarrow R_3 = \frac{R_1}{(2\pi C f_m)^2 * R_1 R_2 - 1} =$$

$$= \frac{220 * 10^3}{(2\pi * 10 * 10^{-9} * 125)^2 * 220 * 10^3 * 390 * 10^3 - 1} = 51 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

Valor Normalizado $R_3 = 56 \text{ K}\Omega$

Tercero A.O (centrado en 150 Hz)

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$$

$$Q = \frac{f_m}{f_2 - f_1} = \frac{150}{200 - 100} = 1,5$$

$$Q = 2\pi C f_m R_2 \rightarrow R_2 = \frac{Q}{\pi C f_m} = \frac{1}{\pi * 10 * 10^{-9} * 150} = 318 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

$$\text{Valor Normalizado } R_2 = 390 \text{ K}\Omega$$

$$A_m = \frac{-R_2}{2R_1} \rightarrow R_1 = \frac{-R_2}{2A_m} = \frac{-390 \cdot 10^3}{2 \cdot -1} = 195 \text{ K}\Omega \rightarrow \text{Valor Normalizado } R_1 = 220 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} \rightarrow R_3 = \frac{R_1}{(2\pi C f_m)^2 \cdot R_1 R_2 - 1} =$$

$$= \frac{220 \cdot 10^3}{(2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 150)^2 \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 390 \cdot 10^3 - 1} = 33 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

$$\text{Valor Normalizado } R_3 = 33 \text{ K}\Omega$$

Cuarto A.O (centrado en 175 Hz)

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$$

$$Q = \frac{f_m}{f_2 - f_1} = \frac{175}{200 - 100} = 1,75$$

$$Q = 2\pi C f_m R_2 \rightarrow R_2 = \frac{Q}{\pi C f_m} = \frac{1,75}{\pi \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 175} = 318 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

$$\text{Valor Normalizado } R_2 = 390 \text{ K}\Omega$$

$$A_m = \frac{-R_2}{2R_1} \rightarrow R_1 = \frac{-R_2}{2A_m} = \frac{-390 \cdot 10^3}{2 \cdot -1} = 195 \text{ K}\Omega \rightarrow \text{Valor Normalizado } R_1 = 220 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} \rightarrow R_3 = \frac{R_1}{(2\pi C f_m)^2 \cdot R_1 R_2 - 1} =$$

$$= \frac{220 \cdot 10^3}{(2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 175)^2 \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 390 \cdot 10^3 - 1} = 23 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

Valor Normalizado $R_3 = 22 \text{ K}\Omega$

Quinto A.O (centrado en 200 Hz)

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$$

$$Q = \frac{f_m}{f_2 - f_1} = \frac{200}{200 - 100} = 2$$

$$Q = 2\pi C f_m R_2 \rightarrow R_2 = \frac{Q}{\pi C f_m} = \frac{2}{\pi * 10 * 10^{-9} * 200} = 318 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

Valor Normalizado $R_2 = 390 \text{ K}\Omega$

$$A_m = \frac{-R_2}{2R_1} \rightarrow R_1 = \frac{-R_2}{2A_m} = \frac{-390 * 10^3}{2 * -1} = 195 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

Valor Normalizado $R_1 = 220 \text{ K}\Omega$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} \rightarrow R_3 = \frac{R_1}{(2\pi C f_m)^2 * R_1 R_2 - 1} =$$

$$= \frac{220 * 10^3}{(2\pi * 10 * 10^{-9} * 200)^2 * 220 * 10^3 * 390 * 10^3 - 1} = 17 \text{ K}\Omega \rightarrow$$

Valor Normalizado $R_3 = 18 \text{ K}\Omega$

En la figura 3.21 se muestra una tabla resumen con los valores de los componentes calculados y normalizados empleados para el filtro pasa banda del primer conmutador inalámbrico.

Conmutador inalámbrico 1					Valor normalizado		
C [nF]	Fmin[Hz]	Fmax[Hz]	fm[Hz]	Q	R2[[KΩ]	R1[[KΩ]	R3[KΩ]
10	100	200	100	1	390	220	100
10	100	200	125	1,25	390	220	56
10	100	200	150	1,5	390	220	33
10	100	200	175	1,75	390	220	22
10	100	200	200	2	390	220	18

FIGURA-3.21 Valores componentes filtro pasa banda para primer conmutador electrónico

El circuito montado en cascada puede observarse en la figura 3.22

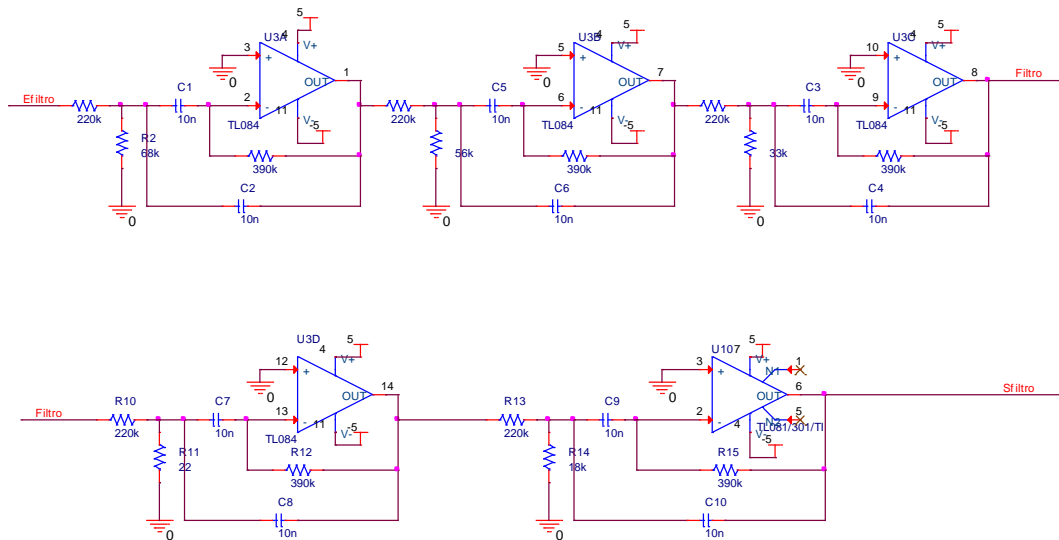


FIGURA 3.22-Filtro pasa banda

Para comprobar que el filtro pasa banda es adecuado se realiza la inversa del proceso anteriormente desarrollado para corroborar que la selección de componentes normalizados es adecuada.

Primer A.O

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}; R_2 = 390 \text{ K}\Omega; R_1 = 220 \text{ K}\Omega; R_3 = 100 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} =$$

$$\frac{1}{2\pi * 10 * 10^{-9}} \sqrt{\frac{220 * 10^3 + 100 * 10^3}{220 * 10^3 * 100 * 10^3 * 390 * 10^3}} = 97,2 \text{ Hz}$$

Segundo A.O

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}; R_2 = 390 \text{ K}\Omega; R_1 = 220 \text{ K}\Omega; R_3 = 56 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} =$$

$$\frac{1}{2\pi * 10 * 10^{-9}} \sqrt{\frac{220 * 10^3 + 56 * 10^3}{220 * 10^3 * 56 * 10^3 * 390 * 10^3}} = 120,62 \text{ Hz}$$

Tercero A.O

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}; R_2 = 390 \text{ K}\Omega; R_1 = 220 \text{ K}\Omega; R_3 = 56 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} =$$

$$\frac{1}{2\pi * 10 * 10^{-9}} \sqrt{\frac{220 * 10^3 + 33 * 10^3}{220 * 10^3 * 33 * 10^3 * 390 * 10^3}} = 150,44 \text{ Hz}$$

Cuarto A.O

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}; R_2 = 390 \text{ K}\Omega; R_1 = 220 \text{ K}\Omega; R_3 = 22 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} =$$

$$\frac{1}{2\pi * 10 * 10^{-9}} \sqrt{\frac{220 * 10^3 + 33 * 10^3}{220 * 10^3 * 33 * 10^3 * 390 * 10^3}} = 180,2 \text{ Hz}$$

Quinto A.O

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}; R_2 = 390 \text{ K}\Omega; R_1 = 220 \text{ K}\Omega; R_3 = 18 \text{ K}\Omega$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} =$$

$$\frac{1}{2\pi * 10 * 10^{-9}} \sqrt{\frac{220 * 10^3 + 33 * 10^3}{220 * 10^3 * 33 * 10^3 * 390 * 10^3}} = 197,57 \text{ Hz}$$

A partir de la simulación realizada con el programa FilterPro de Texas Instrument [11] del filtro pasa banda podemos observar las ganancias en función de las frecuencias.

La simulación presenta un diagrama de Bode con 2 ganancias y 2 fases, que se corresponden con valores de los capacitores y resistencias calculados (Original), y con los componentes estandarizados de los mismos (Actual).

En la figura 3.23 podemos observar que para unos 100 Hz, la señal presenta ganancia unidad.

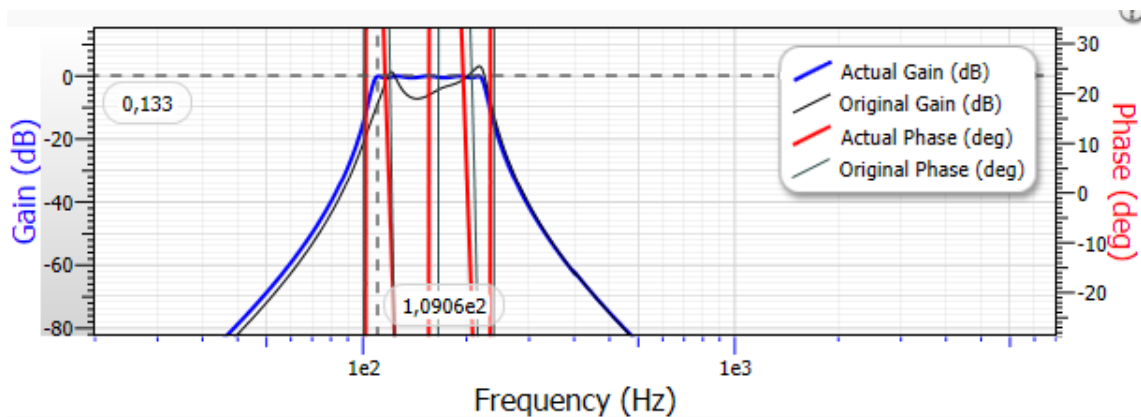


FIGURA 3.23-Ganancia filtro a 100 Hz.

En la figura 3.24 podemos observar que para unos 200 Hz, la señal presenta ganancia unidad.

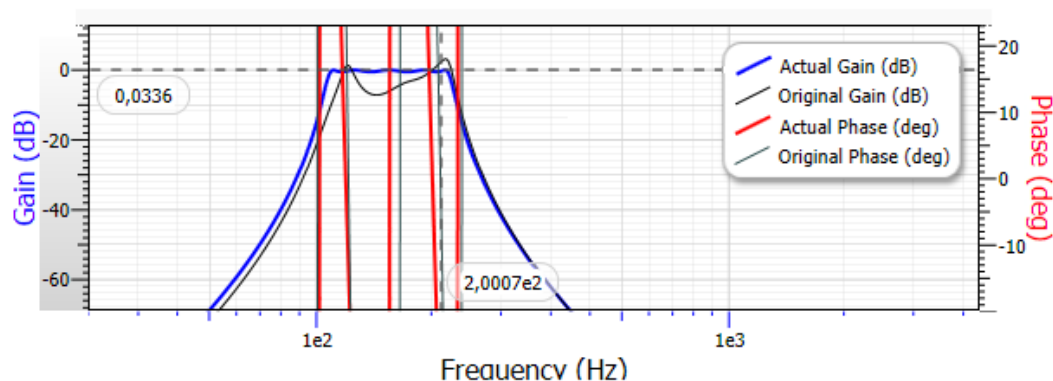


FIGURA 3.24- Ganancia filtro a 200 Hz

Por último en la figura 3.25 podemos observar lo que pasaría si la frecuencia recibida fuera la de otro pulsador, por ejemplo la de 400 hz.

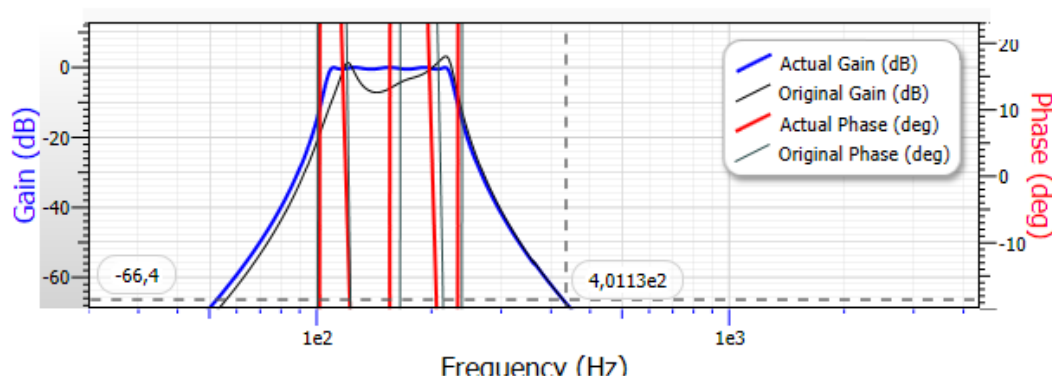


FIGURA 3.25-Atenuación a 400 Hz

Como podemos observar en la figura 3.25 la atenuación es de -66,4 db, lo cual significa:

$$Db = 20 \log(V) \rightarrow V = 10^{\frac{Db}{20}} = 10^{\frac{-66}{20}} = 501,18 * 10^{-6} \frac{V}{V}$$

Con lo cual si se introduce una señal de 5 V a 400 Hz la salida presentará la siguiente tensión.

$$V_{sfilto} = 5 V * 501,18 * 10^{-6} \frac{V}{V} = 2,5 mV$$

Como el filtro paso-banda consta de 5 amplificadores usaremos los siguientes circuitos integrados:

- TL084: Posee 4 A.O.
- TL081: Posee 1 A.O.

Las características que motivan elegir estos operacionales son:

- Tecnología J-Fet que posee alta impedancia de entrada.

- Bajo offset.
- Bajo coste.
- Gran ancho de banda.
- Velocidad de respuesta rápida.

3.1.2.3 BL3: Recuperación de señal o información.

Dado que la señal filtrada, es una señal sinusoidal, en el caso en el que se encuentre dentro del ancho de banda del filtro, hay que recuperar la señal para poder obtener una señal cuadrada con los valores lógicos iniciales. Para ello vamos a usar el amplificador operacional TL081 [12], cuya elección quedó detallada anteriormente y el cual se muestra en la figura 3.26.

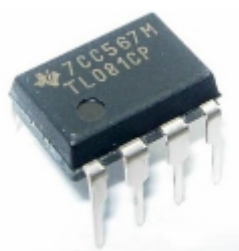


FIGURA 3.26-TL081 recuperación señal

Para ello configuramos el amplificador como comparador, tal como se indica en la figura 3.27.

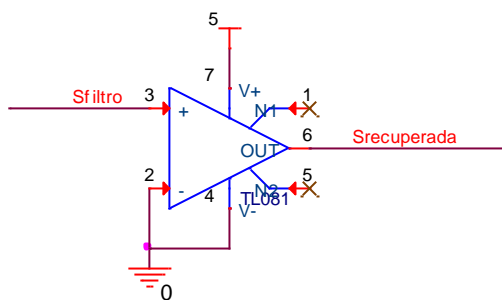


FIGURA 3.27-TL081 comparador

De modo que:

- $V_+ > V_- \rightarrow S_{recuperada} = 5 \text{ V.}$
- $V_+ < V_- \rightarrow S_{recuperada} = 0 \text{ V.}$

3.1.2.4 BL4: Demodulación (CD4046), mediante PLL.

Para demodular la señal tenemos que poner a trabajar al CD4046 como PLL. En la figura 3.28 se encuentra el conexionado para que trabaje como demodulador.



FIGURA 3.28-Demodulador CD4046

A continuación se va a explicar el funcionamiento básico del PLL [13] cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 3.29.

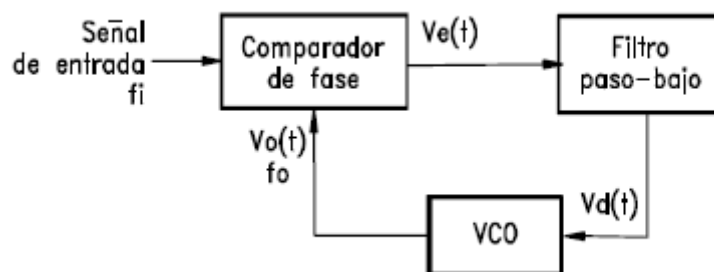


FIGURA 3.29-Demodulador CD4046

Consta fundamentalmente de tres bloques:

- BL1: Comparador de fase.
- BL2: Filtro paso bajo.
- BL3: Oscilador controlado por voltaje (VCO).

Todas sus salidas son digitales, con valores correspondientes a los de la alimentación del integrado.

BL1: Comparador de fase

Compara la frecuencia de la señal de entrada, con la propia generada por el VCO interno. Así podemos encontrar las siguientes situaciones:

- Cuando $f_i > f_o \rightarrow V_e(t) = "1"$.
- Cuando $f_o > f_i \rightarrow V_e(t) = "0"$.
- Si no hubiese señal $\rightarrow V_e(t) = "0"$.

BL2: Filtro paso bajo.

El filtro paso bajo es del tipo RC, como se muestra en la figura 3.30:

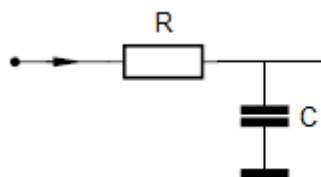
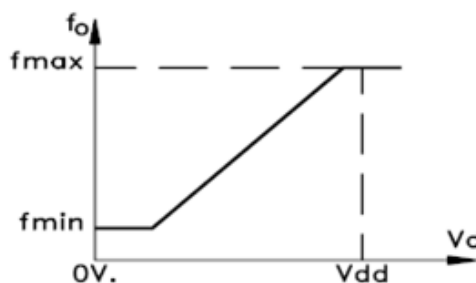
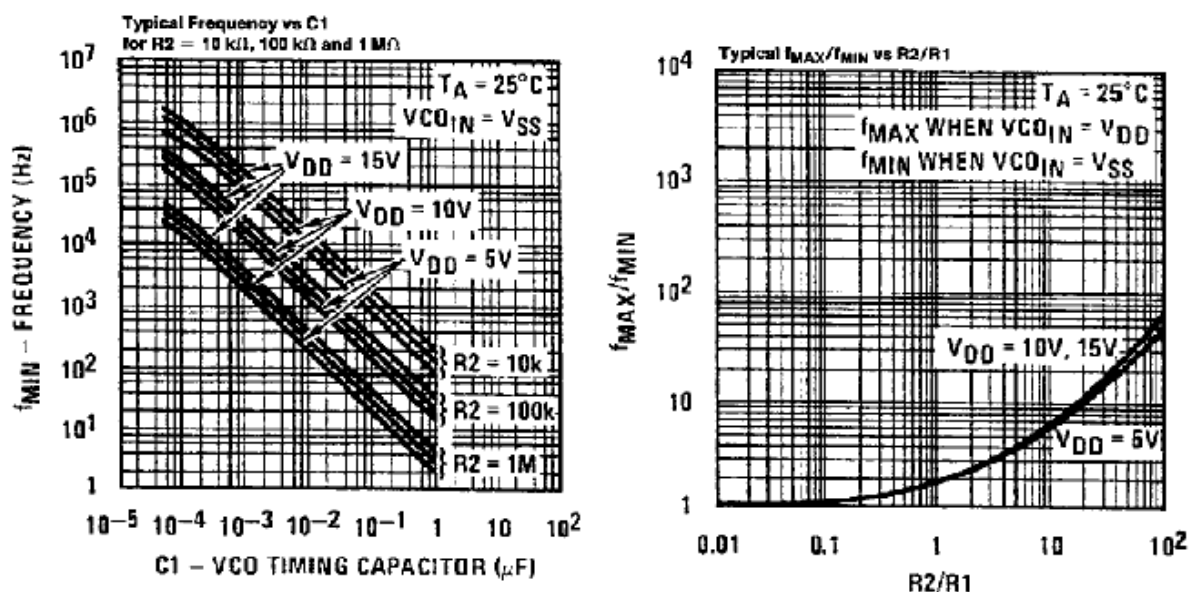


FIGURA 3.30-Filtro paso bajo

BL3: Oscilador controlado por voltaje (VCO).

Encargado de generar onda cuadrada entre los niveles lógicos de la alimentación del integrado cuya frecuencia depende los componentes externos R_1 , R_2 , C_1 y de la tensión de entrada VCO_{in} según la función representada en la figura 3.31.

FIGURA 3.31-Función f_o frente V_d

Cuando estos 3 dispositivos se unen como se indicó en la figura 3.29, el CD4046 trabaja como PLL de la siguiente manera:

Si $VCO_{in} = 0$ entonces la salida del comparador $V_e = 0$, con lo que la salida del filtro $V_d = 0$. Por lo que el VCO oscilará a una f mínima y el sistema estará en el punto A, como se indica en la figura 3.32.

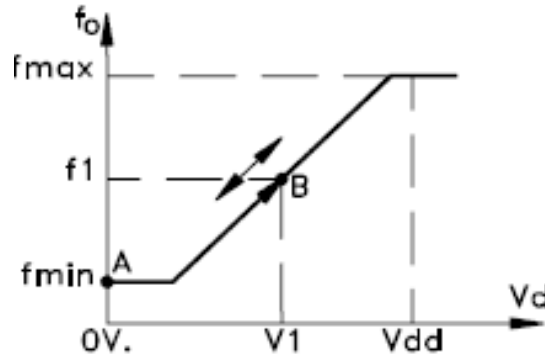


FIGURA 3.32-Función f_o frente V_d (punto A)

Si $f_i > f_o$ mínima entonces la salida del comparador $V_e = "1"$ y el condensador se cargará, con lo que el VCO irá aumentando de frecuencia hasta B.

La duración del proceso terminará cuando $f_i < f_o$, momento en el que la salida del comparador $V_e = "0"$, entonces el condensador se descargará a través de la resistencia, sin embargo cuando V_d disminuye, f_o también lo hace, disminuyendo hacia el punto A pasando de nuevo a que $f_i > f_o$, y por lo tanto a que la salida del comparador $V_e = "1"$.

Como este ciclo se repite de forma rápida, la salida del comparador V_e no presenta valor definido y la salida del filtro $V_d = V_1$, tensión necesaria para que el oscilador de frecuencia oscile a la misma frecuencia que la señal de entrada.

Una vez que el PLL ha llegado a este punto se dice que está bloqueado, y a partir de ese punto la frecuencia del oscilador de frecuencia seguirá a la entrada siempre y cuando no se salga del margen $f_{min} - f_{max}$.

Rango de captura (f_c): rango de frecuencias de la señal de entrada donde PLL engancharía si partiera desde fuera de los límites inicialmente.

Rango de enganche (f_e): frecuencias de la señal de entrada en las que el PLL permanece bloqueado si se encontraba enganchado inicialmente.

Todo PLL cumple $f_c < f_e$, en nuestro PLL son iguales. Siempre que esté enganchado la salida del filtro $V_d = VCO_{in}$ según la función representada en la figura 3.33.

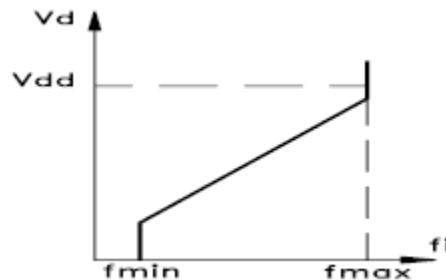


FIGURA 3.33-Función V_d frente f_i

Por lo tanto el PLL puede utilizarse como convertidor frecuencia a tensión.

La configuración del PLL se muestra en la figura 3.34.

Las resistencias y condensadores externos ($R_1 R_2 C_1$) son los mismos que en la parte moduladora, para que las frecuencias del modulador y del demodulador sean iguales.

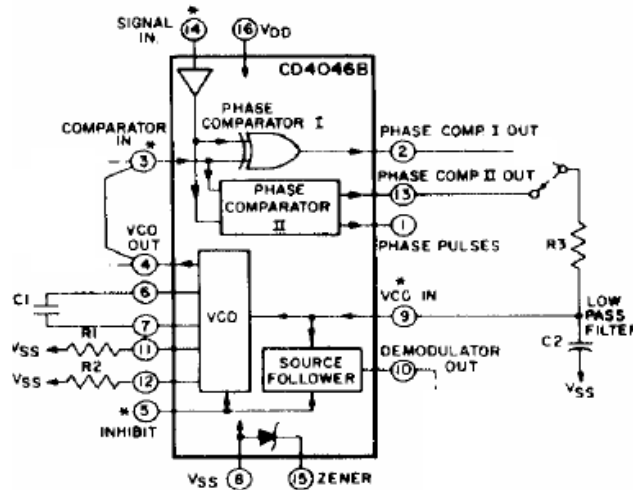


FIGURA 3.34-Configuración CD4046 como PLL

La señal recibida del modulador llega al PLL donde se compara con la propia generada por el demodulador, la salida generará una serie de pulsos que serán aplicados a la entrada del demodulador para que el PLL enganche con la frecuencia de entrada, consiguiendo así demodular la señal y obtener nuevamente los 5V y 0V de los que partíamos en un principio.

El condensador $C_1 = C_2$ con el potenciómetro R_3 se utilizan para mejorar la detección de la señal por la limpieza de espurios no deseados.

3.1.2.5 BL5: Amplificador de transconductancia.

Se va a implementar el transistor BC547, el cual se encargará de actuar como amplificador de transconductancia [14] trabajando en corte y saturación [15]. Figura 3.35.



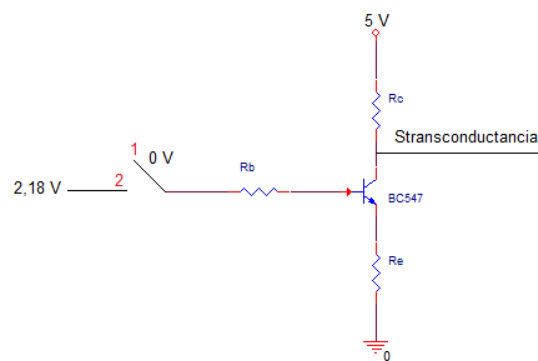
FIGURA 3.35-Amplificador corriente

Como el demodulador entrega una señal de baja corriente se hace necesario amplificarla a partir de las tensiones proporcionadas por el mismo, que se muestran en la figura 3.36.

Frecuencia trabajo[Hz]	Entrada Amplificador [V]
100	0,1
200	2,18

FIGURA 3.36-Vdemo CD4046

Con estos pasamos a realizar el cálculo de las resistencias externas para que el transistor se encuentre en función de las tensiones de entrada entre corte y saturación actuando como un interruptor. La configuración se encuentra en la figura 3.37.



Datos obtenidos a partir de las hojas de características:

$$\beta = 300 \text{ V/V}$$

$$V_{be} = 0,6 \text{ V}$$

$$V_{ce} = 0,3 \text{ V}$$

$$I_{ce} = 15 \text{ nA}$$

FIGURA 3.37-Configuración BC547B

Ahora se pasa a analizar los 2 estados en los que va a actuar el transistor.

Corte (posición 1)

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

$$I_{ce}R_c + V_{ce} = 5$$

Saturación (posición 2)

Del diseño del circuito podemos obtener las siguientes expresiones mediante las leyes de Kirchoff:

$$1^{\circ} \rightarrow V_b = I_b * R_b + V_{be} + I_e * R_e$$

$$2^{\circ} \rightarrow V_{cc} = I_c * R_c + V_{ce} + I_e * R_e$$

Por otro lado sabemos que para los transistores se cumplen las siguientes ecuaciones [14]:

$$I_e = I_b + I_c$$

$$I_c = \beta * I_b$$

$$\left. \begin{array}{l} I_e = I_b + I_c \\ I_c = \beta * I_b \end{array} \right\} \longrightarrow I_e = I_b * (1 + \beta)$$

Para el cálculo partimos de la suposición de que $R_b = R_c$

$$V_{cc} = I_c * R_c + V_{ce} + I_e * R_e \rightarrow$$

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{(R_e 301 + R_c * 300)}$$

$$V_b = I_b * R_b + V_{be} + I_e * R_e \rightarrow$$

$$I_b = \frac{V_b - V_{be}}{R_e * 301 + R_c}$$

Igualando ambas ecuaciones

$$\frac{V_{cc} - V_{ce}}{(R_e 301 + R_c * 300)} = \frac{V_b - V_{be}}{R_e * 301 + R_c} \rightarrow$$

$$2R_e = R_c = R_b$$

Los valores de resistencias elegidos, son muy por encima de estos, para que el amplificador entre claramente en corte y saturación sin ningún tipo de problema, por ello se han elegido los siguientes valores de resistencias.

$$R_e = 270[\Omega]$$

$$R_c = R_b = 120[K\Omega]$$

Con esto el amplificador para cada una de las tensiones e intensidades de base, las cuales vienen marcadas por cada frecuencia de modulación, actuará entre corte y saturación, como vamos a desarrollar a continuación:

Para 100 Hz (donde $V_b \simeq 0 V$)

$$\left. \begin{array}{l} I_b = 0 A \rightarrow I_c = 0 A \\ I_{ce} R_c + V_{ce} = 5 \end{array} \right\} \begin{array}{l} V_{ce} = 5 - I_{ce} R_c = 5 - 15 * 10^{-9} * 120 * 10^3 \simeq 5 V \text{CORTE} \end{array}$$

Para 200 Hz (donde $V_b = 2,18 \text{ V}$)

$$I_b = \frac{V_b - V_{be}}{R_e * 301 + R_c} = 7,85 \text{ [uA]}$$

$$I_c = \beta * I_b = 2,35 \text{ [mA]}$$

$$V_{cc} = I_c * R_c + V_{ce} + I_e * R_e \rightarrow$$

$$V_{ce} = V_{cc} - I_e * R_e - I_c * R_c < 0,3 \text{ V} \quad \text{SATURACIÓN}$$

3.1.2.6 BL6: Reducción acoplo impedancias.

Con estos valores ya podemos trabajar sobre una puerta lógica que nos proporcione de forma estable la salida ya que si lo conectásemos directamente al relé se presentaría un acoplo de impedancias [15] y no se podría trabajar con él.

Para ello vamos a usar la puerta lógica 7400, figura 3.38.

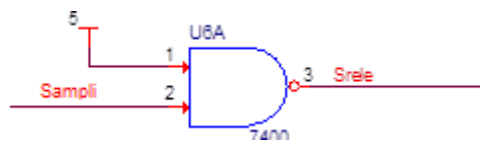


FIGURA 3.38-7400

La elección de la puerta lógica 7400 y su configuración se debe a que cuando el demodulador entrega la señal al bloque de transconductancia este invierte la señal, es decir si presentara a su entrada 0 V los convierte a 5 V y viceversa.

De manera que una de las entradas de la puerta lógica estará a nivel lógico “1” así se consigue interaccionar con el juguete de manera sencilla, cómo se indica a continuación:

- cuando la salida del amplificador de corriente sea 5 V, la salida de la NAND será “0”, por el contrario cuando sea 0 V (aproximadamente), la salida de la puerta lógica será “1”.

3.1.2.7 BL7: Relé (TQ2-5V) y salida Jack 3,5 mm macho

También es condición necesaria, partir de que los juguetes se activen mediante el cierre de un contacto Jack 3,5 mm hembra, ya que estos se encuentran adaptados a las necesidades específicas de los niños (Figura 3.39).



FIGURA 3.39-Juguete accionamiento Jack

Por lo tanto la salida de la parte receptora va a ser un Jack 3,5 mm macho que va a ser el encargado interactuar con el dispositivo. En la figura 3.40 podemos observar la unión entre receptor y dispositivo a controlar.

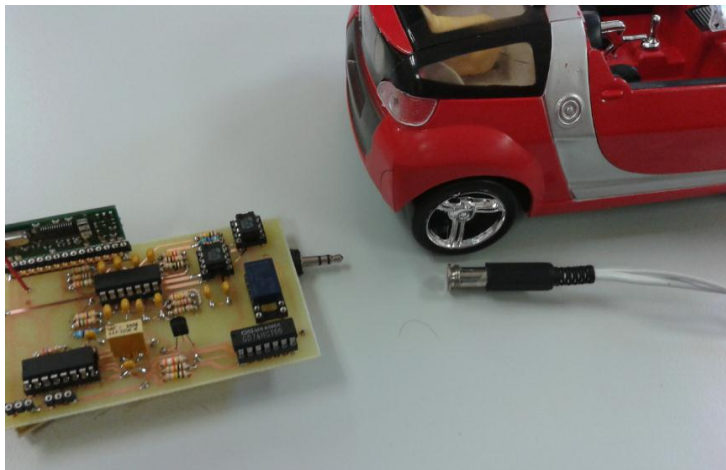


FIGURA 3.40-Unión receptor/dispositivo

Partiendo de esa condición se hizo necesaria la implantación de un relé. El relé elegido es el mismo que en la parte emisora y su elección y condiciones de funcionamiento quedaron expuestas anteriormente en ella.

Este relé se va a encargar de controlar un cortocircuito de la salida Jack de la parte receptora, interactuando de esta manera con el dispositivo electrónico a controlar.

Por ello se pueden observar 2 modos de funcionamiento, como se indican en las figuras 3.41 y 3.42.

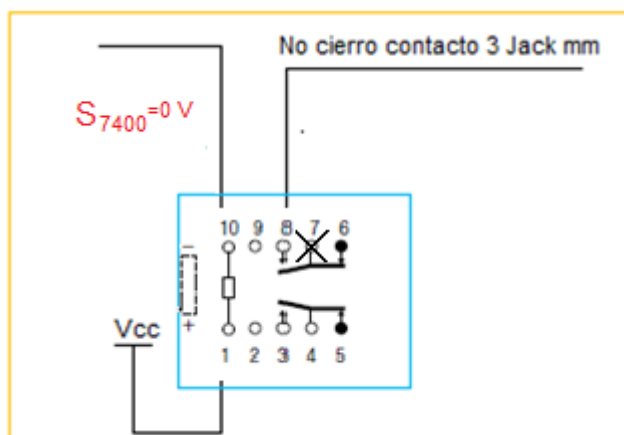


FIGURA 3.41-TQ2-5V en receptor activo

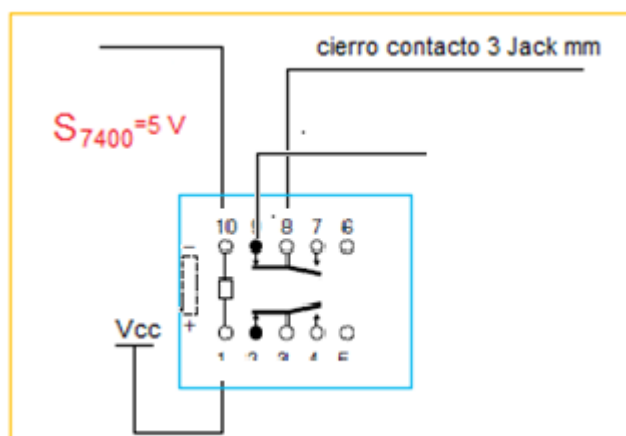


FIGURA 3.42-TQ2-5V en receptor inactivo

3.1.2.8 BL8: Alimentación

La fuente de alimentación de la parte receptora será activa por un conmutador general, el cual se va a encargar de alimentar el circuito.

Este conmutador es de 2 circuitos para 2 posiciones, de manera que este activará los 2 circuitos de alimentación de +/- 5 V, condición necesaria, para que cuando esté inactivo, el circuito tenga consumo nulo. En la figura 3.43 podemos observar el aspecto del conmutador general.



FIGURA 3.43-Conmutador general receptor 2D2C

La parte receptora necesita una alimentación de +/-5 V y 0 V, su configuración es como se muestra en la figura 3.44.

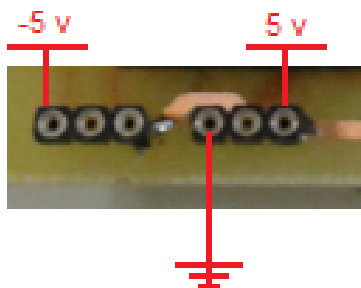


FIGURA 3.44-Alimentacion receptor

Para saber qué tipo de pilas debemos emplear vamos a estimar el consumo de la parte receptora, para además estimar la duración aproximada de las mismas.

Para ello vamos a conectar la parte emisora a la fuente de alimentación y mediante la ayuda de un amperímetro colocado en serie con una de las entradas de alimentación (figura 3.45), vemos que el consumo máximo es de unos 48 mA.



FIGURA 3.45-Consumo receptor

Como la alimentación del circuito es +/-5 V y 0 V se usará 2 porta pilas de 4 pilas de 1,5 V (R03), a 2500 mAh, con esto podemos hacer una estimación de la duración de vida útil.

$$Vida\ util = \frac{2500mAh}{2 * 48mA} = 26\ horas$$

Por lo tanto podremos establecer una recepción de datos de 26 horas idealmente.

Poniéndolas en serie tendremos un potencial de 12 V, con lo que tomando como punto intermedio 6 V podemos obtener las diferencias de potencial requeridas para alimentar el circuito a partir del divisor de tensión resistivo, desarrollado a continuación y cuyo conexionado se muestra en la figura 3.46:

$$V_{out(+/-5V)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in(+/-6V)} \rightarrow \frac{5}{6} R_1 = \frac{1}{6} R_2 \rightarrow 5R_1 = R_2$$

$$R_1 = 5 K\Omega$$

$$R_2 = 1 K\Omega$$

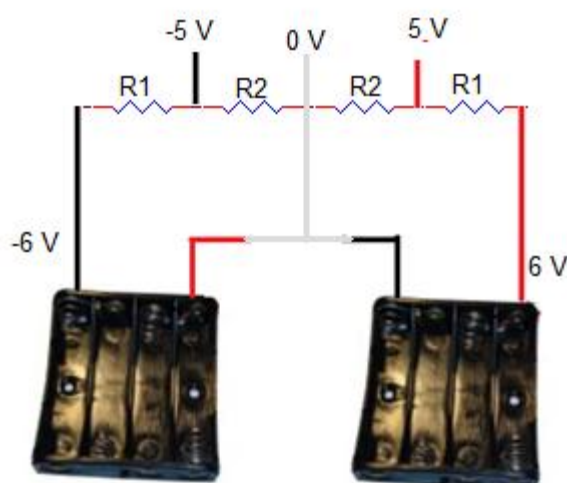


FIGURA 3.65-Portapilas receptor

El consumo en vatios será:

$$P = I * V = 2 * 48 * 10^{-3} * 5 = 480[mW]$$

3.2 Mecánicos

3.2.1 Emisor

Con motivo de aislar la parte emisora de las cargas estáticas procedentes de los alumnos del centro, y de proteger el circuito electrónico, se ha desarrollado una caja de madera de balsa, como se muestra en la figura 3.47, que contiene el circuito impreso. Sus medidas se encuentran detalladas en la en el anexo 8.

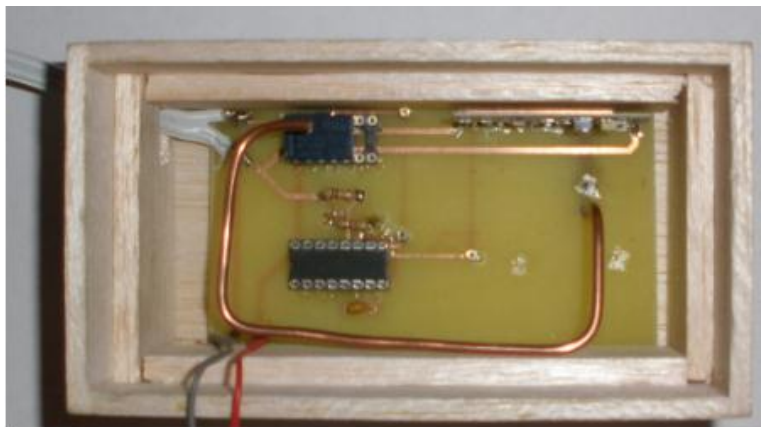


FIGURA 3.47-Emisor interior de caja

A su vez esta caja protectora y aislante de cargas estáticas va a introducirse dentro de un oso de peluche, como se puede ver en la figura 3.48.

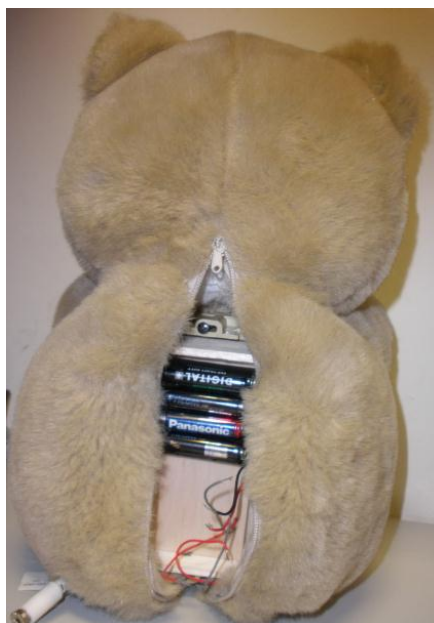


FIGURA 3.48-Emisor en interior peluche

Esto se hace por estética ya que el lugar de trabajo de estos dispositivos son áreas de juegos, y para que los alumnos del centro interactúen más

fácilmente con los conmutadores inalámbricos. Se trata de un requerimiento de sus cuidadores.

3.2.1.1 Proceso montaje emisor

Una vez realizada la caja contenedora de la parte emisora, se introducirá el circuito impreso en la misma y se sujetará como se indica en la figura 3.49.

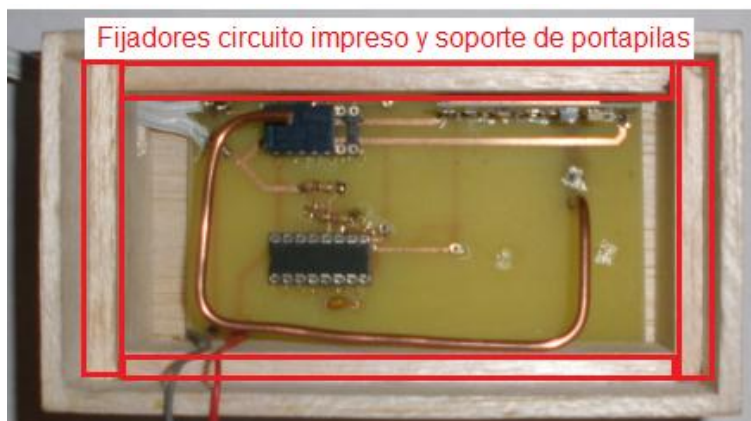


FIGURA 3.49-Sujeción emisor en caja

Sujeto el circuito impreso, se cerrará la caja con una tapa portadora de la alimentación necesaria para el funcionamiento del mismo, como se indica en la figura 3.50.



FIGURA 3.50-Tapa de caja emisor

Por último se insertará la caja, dentro del oso de peluche el cual posee una estructura, ilustrada en la figura 3.51. El resultado final puede observarse en la figura 3.52



FIGURA 3.51-Caja dentro de estructura interior peluche



FIGURA 3.52-Resultado final emisor

3.2.2 Receptor

Para la parte receptora también se ha diseñado una caja de madera de balsa, como se puede observar en la figura 3.53 y cuyas medidas vienen detalladas en el anexo 12.

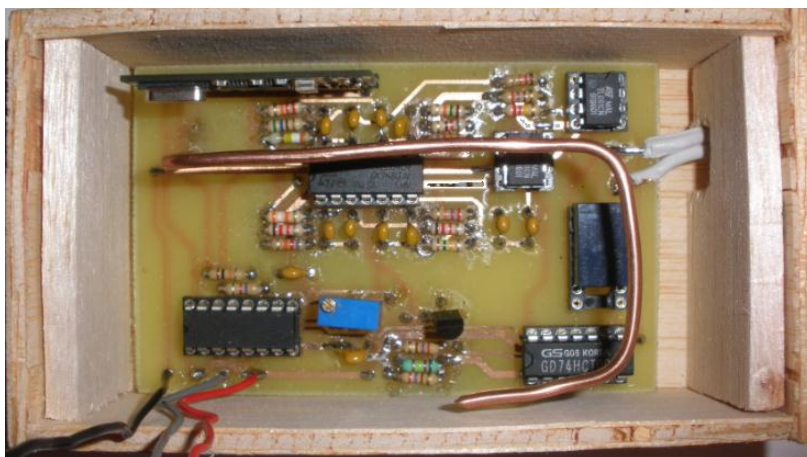


FIGURA 3.53-Caja contenedora de receptor

Los motivos de introducirse en una caja son los anteriormente detallados en la parte emisora.

3.2.2.1 Proceso montaje receptor

Una vez realizada la caja contenedora de la parte receptora de acuerdo con los planos mecánicos del receptor, se introducirá el circuito impreso en la misma y se sujetará como se indica en la figura 3.54.

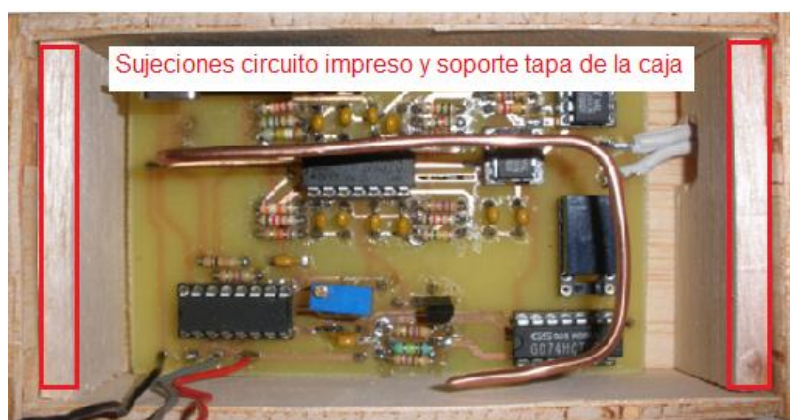


FIGURA 3.54-Sujeción circuito impreso en caja receptor

Fijado el circuito impreso se cerrará la caja, sacando los cables de alimentación del circuito impreso para poder alimentarlo desde el exterior, como se indica en la figura 3.55.

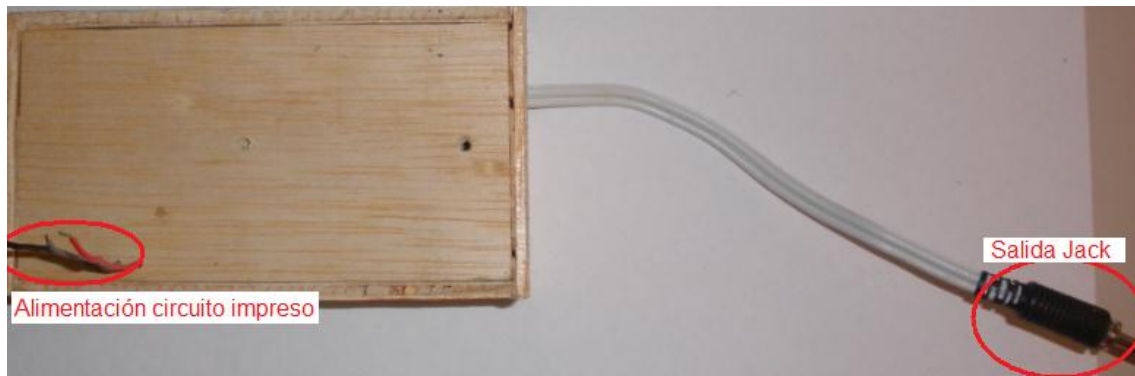


FIGURA 3.55-Estructura receptor

Encima de la tapa del receptor se situará la alimentación del circuito y por último se forrará la caja, como puede verse en la figura 3.56.



FIGURA 3.56-Receptor final

4 RESULTADOS

4.1 Experimentales

Estos resultados se han realizado con la primera pareja de conmutadores inalámbricos.

4.1.1 Emisor

4.1.1.1 CD4046 como VCO

Si a la entrada del modulador se presenta una tensión de entrada de 5 V, como indica la figura 4.1.

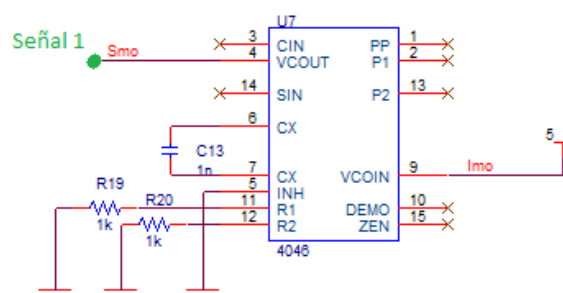


FIGURA 4.1-CD4046 a f_{max} ($VCO_{in}=VSS$)

...la salida generará una onda cuadrada de aproximadamente 200 Hz, como se puede observar en la figura 4.2.

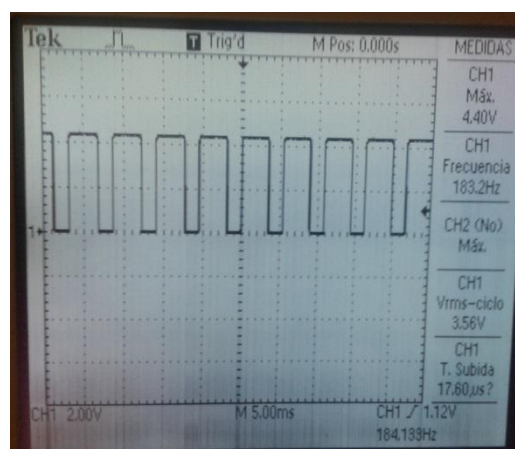


FIGURA 4.2-Visualización señal generada a f_{max}

Si a la entrada del modulador se presenta una tensión de entrada de 0 V, como se indica en la figura 4.3...

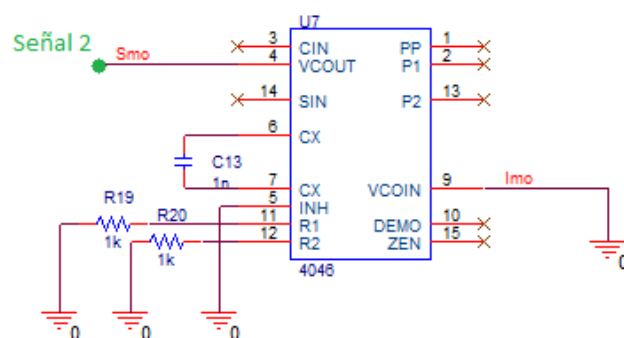


FIGURA 4.3- CD4046 a f_{min} ($VCOin=VDD$)

...la salida generará una onda cuadrada de aproximadamente 100 Hz, como se puede observar en la figura 4.4, que se ha obtenido de forma experimental a partir de la primera pareja de conmutadores inalámbricos.



FIGURA 4.4- Visualización señal generada a f_{min}

4.2.1 Receptor

4.2.1.1 Filtro pasa banda

Una vez implementado el filtro pasa banda, mostrado en la figura 4.5, se puede ver la atenuación de las señales en función de la frecuencia de entrada.

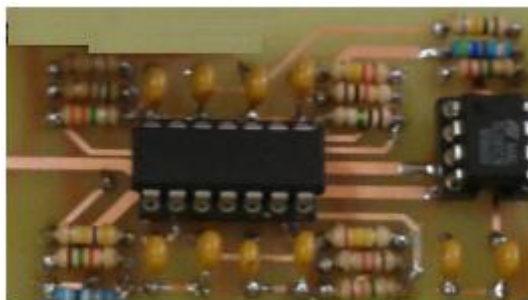


FIGURA 4.5-FPB implementado

Para ello haremos uso del generador de funciones mostrado en la figura 4.6 y generaremos señales en nivel TTL a distintas frecuencias:



FIGURA 4.6-Generador funciones

Valores experimentales obtenidos:

En la 4.7 podemos observar cómo para una frecuencia de 108 Hz, la tensión de salida es atenuada, dando 2,12 V.

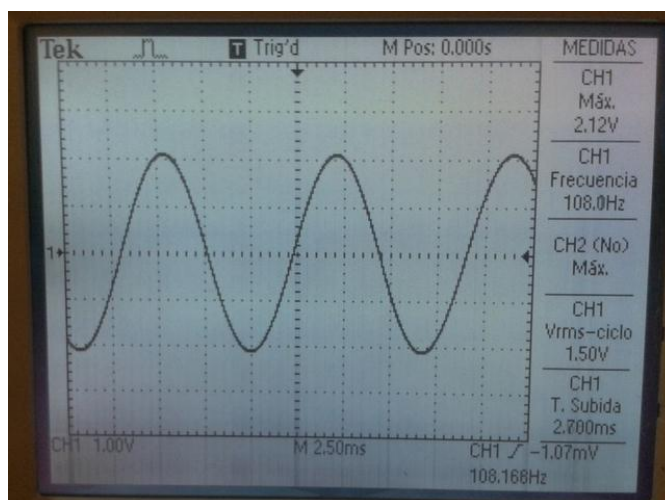


FIGURA 4.7-Valores experimentales a 108Hz

En la figura 4.8 podemos observar cómo para una frecuencia de 150 Hz, la tensión de salida es atenuada, dando 1,96 V.

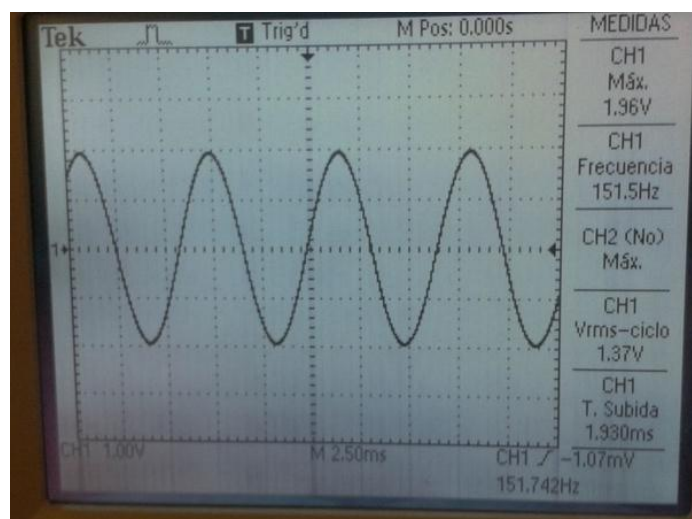


FIGURA 4.8-Valores experimentales a 150Hz

En la figura 4.9 podemos observar cómo para una frecuencia de 202 Hz, la tensión de salida es atenuada, dando 1,04 V.

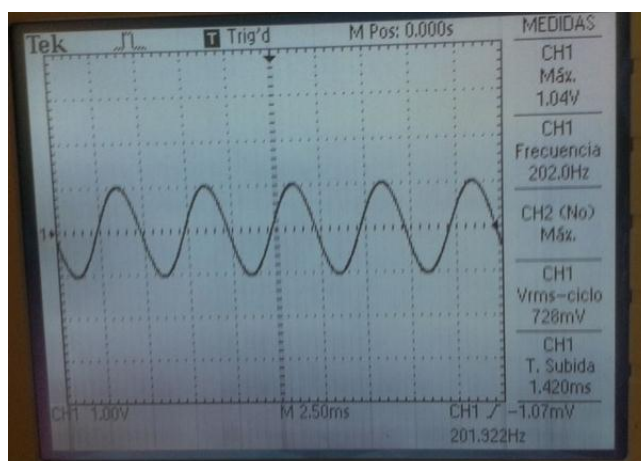


FIGURA 4.9-Valores experimentales a 202Hz

El resultado experimental comparado con la simulación realizada anteriormente mediante el programa de simulación FilterPro muestra que, la señal ha sido atenuada en el rango de trabajo de la primera pareja de conmutadores inalámbricos, cuando el simulador indicaba que para esa frecuencia no sería atenuada la señal, esto se debe a que el programa trata los amplificadores como ideales.

En la figura 4.10 podemos observar cómo para una frecuencia de 255 Hz, la señal es rechazada dando una tensión de salida de aproximadamente 0 V.

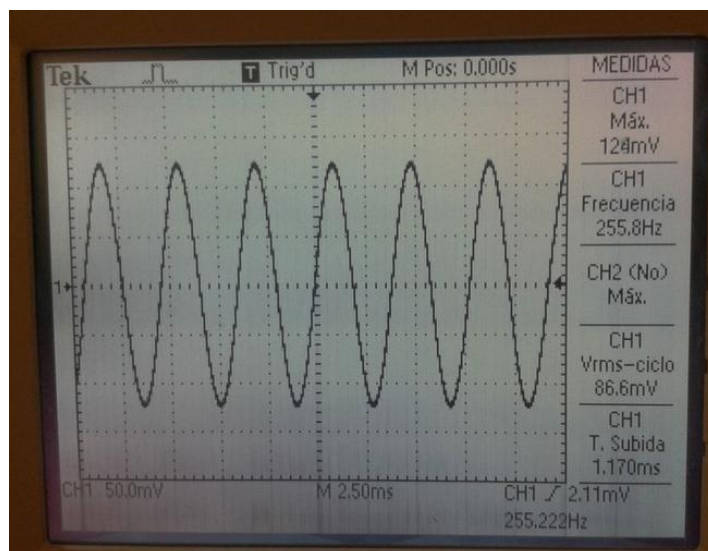


FIGURA 4.10-Valores experimentales a 255Hz

Cómo podemos observar cuando sobrepasa las frecuencias, por ejemplo en la última figura, en la que está a 255 Hz, la señal está atenuada y es prácticamente 0, por lo tanto el filtro diseñado es bastante selectivo.

4.2.1.2 Recuperador información

Recuperaremos la información recibida por el receptor, en caso de que no sea rechazada por el filtro pasa banda, como podemos observar en la figura 4.11.

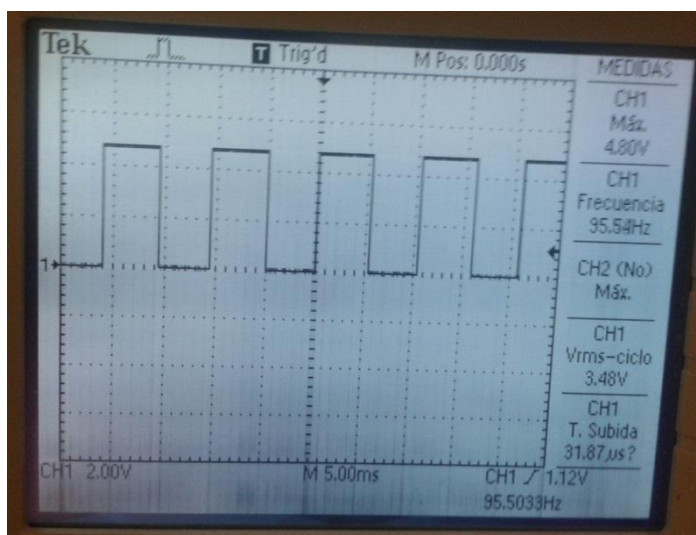


FIGURA 4.11-Recuperacion de señal

4.2.1.3 Demodulador

Experimentalmente, a la salida del demodulador no llegamos a obtener los valores exactos de 0 V-5 V, sino que llegamos a conseguir de 0 V-2,18 V, valores suficientes para poder trabajar con la señal.

Las principales causas de pérdida de tensión se deben básicamente a la transmisión de datos, ya que se introduce ruido y por lo tanto la señal no se recibe en la parte receptora como se envió originalmente.

4.2 Funcionales

El alcance del dispositivo depende básicamente de la antena pudiendo llegar a transmitir señales incluso a 100 metros, según los datos del fabricante.

En nuestro diseño basta con unos metros, por lo que la antena no superará los 15 cm de longitud ni 3 mm de diámetro.

Los datos experimentales obtenidos en cuanto a alcance se exponen a continuación:

PCB sin proteger ni aislar

Este experimento se realizó sin ningún tipo de protección sobre el circuito impreso como se puede observar en la figura 4.12.

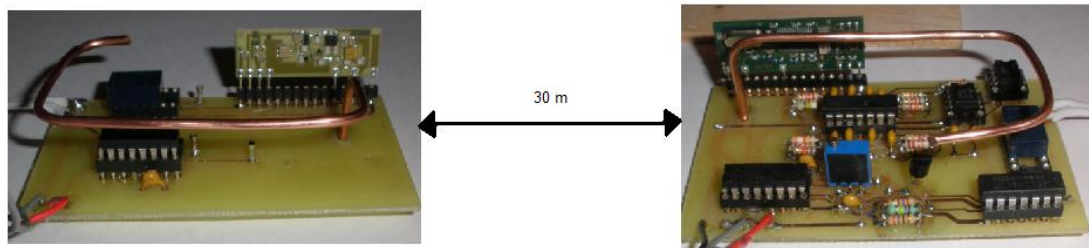


FIGURA 4.12-PCB sin proteger

Puede transmitir datos a unos 30 metros aproximadamente sin ningún tipo de problema, el único inconveniente es que al no estar protegidos los circuitos impresos, las cargas estáticas de las personas que manipulen el emisor pueden influir en la transmisión de datos cuando tocan la antena.

PCB en estructura mecánica

Este experimento se realizó con los circuitos impresos en sus respectivas cajas como puede observarse en la figura 4.13.

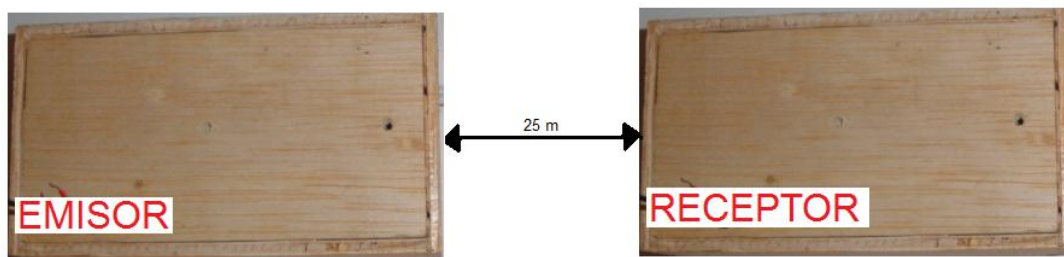


FIGURA 4.13-PCB Aislada en cajas madera

Puede transmitir datos a unos 25 metros aproximadamente sin ningún tipo de problema, este modelo es bastante adecuado, ya que además de tener una longitud de transmisión elevada, las cargas estáticas de sus manipuladores no influyen, al encontrarse aislada y protegida en caja la parte emisora.

PCB en estructura mecánica del emisor dentro de peluche

Este experimento se realizó con los circuitos impresos en sus respectivas cajas y el emisor albergado dentro del peluche, como puede observarse en la figura 4.14.

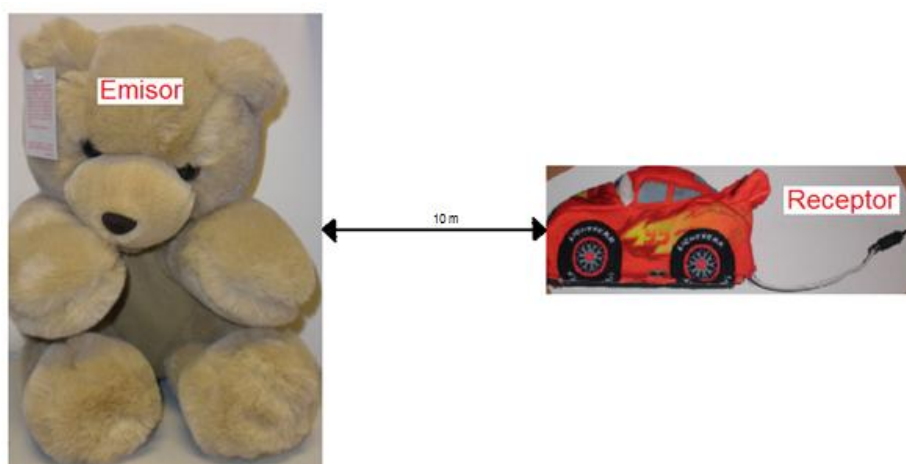


FIGURA 4.14-Conmutadores montaje final

Puede transmitir datos a unos 10 metros aproximadamente sin ningún tipo de problema, distancia suficiente para el entorno de trabajo en el que se va a utilizar. En el siguiente link se muestra un video en el que podemos observar el funcionamiento del dispositivo.

<http://www.youtube.com/watch?v=pmDKHdEOOmK&feature=youtu.be>

4.3.1 Emisor

El emisor una vez montado presentará el aspecto de las figuras 4.15.



FIGURA 4.15-Emisor en peluche

El conmutador general de alimentación se encuentra en la parte inferior del peluche, como podemos observar en la figura 4.16.

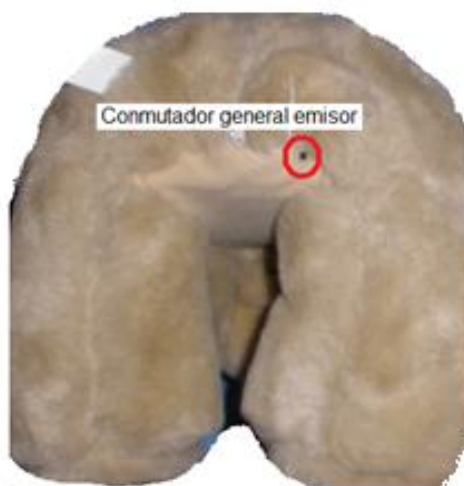


FIGURA 4.16 Conmutador general emisor

4.3.2 Receptor

Con objeto de dar una mejor impresión visual la caja se forrará como se puede observar en la figura 4.17.



FIGURA 4.17-Receptor en caja forrado

Mediante una tapa también forrada se cerrará la caja quedando oculta de esta manera la alimentación del sistema como queda reflejado en la figura 4.18.



FIGURA 4.18-Aspecto visual final receptor

5 PRESUPUESTO

5.1 Componentes

5.1.1 Emisor

En la figura 5.1 se muestra una tabla resumen con el precio de los componentes necesarios para el desarrollo del circuito impreso de la parte emisora.

<i>Producto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Coste[€]</i>
TQ2-5V	1	1,68
CD4046	1	0,22
Cebek C0503	1	7,70
Varios (zócalos ,antena, resistencias,...)		1
Total		11,05

FIGURA 5.1-Costes componentes emisor

5.1.2 Receptor

En la figura 5.2 se muestra una tabla resumen con el precio de los componentes necesarios para el desarrollo del circuito impreso de la parte receptora.

<i>Producto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Coste[€]</i>
Jack 3 mm(macho)	1	0,68
TQ2-5V	1	1,68
CD4046	1	0,22
Cebek C0504	1	11,5
Varios(zócalos ,antena, resistencias,...)	X	2,5
TI081	2	0,32
TL084	1	0,19
BC546	1	0,05

7400	1	0,19
Total		17,33

FIGURA 5.2-Costes componentes receptor

5.2 Desglose de horas

5.2.1 Gestión

En la figura 5.3 se muestra una tabla resumen con el precio de las horas empleadas en la gestión de desarrollo del proyecto.

	<i>Perfil</i>	<i>Horas</i>	<i>Coste/hora</i>	<i>Coste[€]</i>
Definición	IJ	10	20.94 €	290,4€
Planificación	IJ	5	20.94 €	104,7€
Reuniones con el cliente	IJ	2	20.94 €	41,88€
Reuniones internas	IJ	5	20.94 €	104,7€
Seguimiento técnico	IJ	5	20.94 €	104,7€
TOTAL		27 horas		565,38 €

FIGURA 5.3-Costes de gestión

5.2.2 Diseño

En la figura 5.4 se muestra una tabla resumen con el precio de las horas empleadas en el diseño del proyecto.

	<i>Perfil</i>	<i>Horas</i>	<i>Coste/hora</i>	<i>Coste[€]</i>
Hardware	IJ	15	20.94 €	314,1€
TOTAL		15 horas		314,1€

FIGURA 5.4-Costes de diseño

5.2.3 Compras

En la figura 5.5 se muestra una tabla resumen con el precio de las horas empleadas en las compras de componentes efectuadas en el desarrollo del proyecto.

	<i>Perfil</i>	<i>Horas</i>	<i>Coste/hora</i>	<i>Coste[€]</i>
Evaluación Proveedores	IJ	7	20.94 €	146,58€
Proveedores	IJ	3	20.94 €	62,82€
Elaboración de pedidos	IJ	5	20.94 €	104,7€
TOTAL		15 horas		314,1€

FIGURA 5.5-Costes de compras

5.2.4 Documentación

En la figura 5.6 se muestra una tabla resumen con el precio de las horas empleadas en el desarrollo de la documentación del proyecto.

	<i>Perfil</i>	<i>Horas</i>	<i>Coste/hora</i>	<i>Coste[€]</i>
Planos	IJ	7	20.94 €	146,58€
Lista de materiales	IJ	3	20.94 €	62,82€
Proceso de pruebas	IJ	10	20.94 €	209,4€
Descripción Técnica	IJ	10	20.94 €	209,4€
TOTAL		30horas		628,2€

FIGURA 5.6-Costes de documentación

5.2.5 Fabricación

En la figura 5.7 se muestra una tabla resumen con el precio de las horas empleadas en el proceso de fabricación del proyecto.

	<i>Perfil</i>	<i>Horas</i>	<i>Coste/hora</i>	<i>Coste[€]</i>
Composición de la placa y sus elementos	IJ	16	20.94 €	335,04 €
TOTAL		16 horas		335,04 €

FIGURA 5.7-Costes de fabricación

5.2.6 Proceso de pruebas

En la figura 5.8 se muestra una tabla resumen con el precio de las horas empleadas proceso de pruebas final del proyecto.

	Perfil	Horas	Coste/hora	Coste[€]
Parciales, finales y de certificación	IJ	10	20.94 €	290,4€
TOTAL		10 horas		290,4 €

FIGURA 5.8-Costes de pruebas

5.3 Otros costes

En la figura 5.9 se muestra una tabla resumen con el precio otros costes implicados en el desarrollo del proyecto.

	Perfil	Coste[€]
Consumibles	IJ	85€
Viajes	IJ	70€
TOTAL		155 €

FIGURA 5.9-Otros costes

5.4 Coste total de fabricación

Es la suma de todos los costes anteriores lo que hace un total de presupuesto de fabricación de:

2630,6€

6. CONCLUSIONES

El presente proyecto tienen como finalidad el estudio de modulación y demodulación de datos así como su transmisión en formato binario para usarlos dentro de la adaptación en el control de unos juguetes para niños con discapacidad motora del Colegio del Hospital san Rafael, ya que todo sea dicho por motivos económicos, no interesa a grandes empresas este tipo de trabajos, ya que sus ventas serian mínimas, y no están dispuestos a cubrir un sector tan pequeño de la población y esto es algo que me entristece muchísimo. Y los pocos empresarios que están dispuestos a ello se aprovechan poniendo precios elevados a sus productos.

La forma de realizar el proyecto se planteó mediante la modulación y la demodulación de datos binarios.

Por ello han adquirido muchos conocimientos sobre cómo modular una onda mediante un oscilador de frecuencia, sobre cómo transmitirla, cómo recibirla, cómo demodularla, sobre el funcionamiento de un PLL, y de un VCO.

A pesar de que el circuito es un poco robusto, esto no es un problema, porque este lo realizamos mediante componentes DIP. Si se realizase mediante los mismos componentes en formato SMD el tamaño seria reducidísimo.

Se ha conseguido reducir el precio de construcción de los conmutadores electrónicos diseñados respecto a los actualmente disponibles en el mercado en un 83,8%, pudiéndose mejorar el precio de diseño, con la implantación de otras tarjetas de datos, que serán también mencionadas en el capítulo de mejoras.

Se ha estudiado la posibilidad de realizar el mismo objetivo presente en el proyecto pero mediante codificadores y decodificadores, una técnica muy empleada en el uso de mandos a distancia y la cual se encuentra detallada en el anexo 14 y en el anexo 15 la comparativa de precios, entre sistemas modulados y codificados.

7. MEJORAS

El presente proyecto se exigió con fines didácticos que se realizase mediante la modulación y demodulación de datos FSK, no obstante para la finalidad de las personas a las que este proyecto está destinado se introducen nuevos aspectos para proyectos futuros, que aumentan el resultado considerablemente en términos de eficiencia.

- 1) Sustitución de sistemas de modulación y demodulación, por métodos de codificación y decodificación. Método reflejado en anexo 14.
- 2) Sustitución de los módulos de envío C0503 (emisor) y C0504 (receptor), por los siguientes módulos: HM-T433S (emisor) y HT-R433. Como se dijo en el texto, el único inconveniente de estos módulos es que son imposibles de conseguir en España, por lo que hay que ir directamente a los proveedores oficiales, los cuales suelen tardar meses en proporcionar de estos módulos. Sin embargo cuestan aproximadamente 11 euros los 2 (emisor y receptor), mientras que los utilizados en el presente proyecto, cuestan aproximadamente 30 euros, y existen diferencias en términos de alcance de los mismos, ya que los nuevos módulos permiten transmitir señales hasta 240m, incluso son más pequeños que los utilizados en el presente proyecto, es decir que reducirían considerablemente el tamaño de los módulos. Estos nuevos módulos se pidieron también pero a fecha de entrega del proyecto no han sido enviados, por lo que no se pudieron implementar.
- 3) Mejorar el consumo de conmutadores inalámbricos, en el anexo 16 se plantea un circuito sustitutivo del relé para la parte emisora que reducirá considerablemente su consumo, aumentando la vida útil de las baterías.
- 4) Mejorar el consumo trabajando solo con una frecuencia de modulación, este método se refleja en el anexo 17.

8 ANEXOS

8.1 Anexo 1“Medios empleados”

Instrumentos de medida:

- Osciloscopio DS1062C: Empleado para la visualización de las señales del circuito.
- Polímetro 37RA: Empleado para la medida de tensiones, corrientes, resistencias, etc.

Otros instrumentos empleados:

- Fuente de alimentación HY3003D3: Empleado para el suministro de tensión y corriente necesarios para la alimentación de los circuitos.
- Generador de funciones TG320: Empleado para generar señales.

Herramientas empleadas

- Taladradora: empleada para realizar orificios en PCB's.
- Soldador Antex 660TC: Utilizado para realizar soldaduras eléctricas de los componentes en las PCB's.
- Trimer: Empleado para ajuste de potenciómetros.
- Pelacables.

Materiales necesarios:

- Estaño.
- Cables rígidos 0,5mm.
- Madera de balsa.

Software usado:

- Orcad: Empleado para el diseño y simulación electrónicas.
- FilterPro: Empleado para el diseño y simulación de filtros de frecuencia.
- Autocad: Empleado para el diseño de planos mecánicos.

8.2 Anexo 2“Esquemas eléctricos emisor”

Aquí se muestra el conjunto de planos electrónicos de la parte emisora, necesarios para construcción del circuito impreso de los conmutadores electrónicos, realizado a partir de la herramienta de trabajo orcad.

8.2.1 BL1: Acople pulsador y relé

Plano electrónico correspondiente a la entrada del pulsador actuando sobre el relé. Podemos visualizarlo en la figura 8.1.

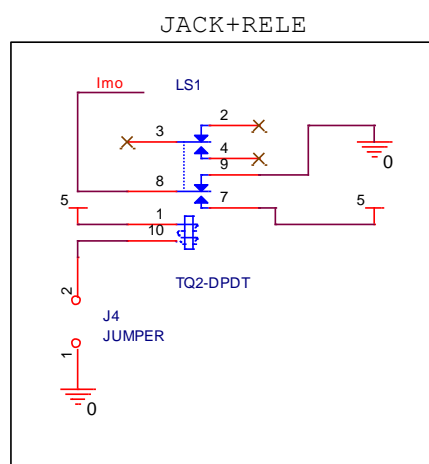


FIGURA 8.1-Esquema BL1 emisor

8.2.2 BL2:CD4046 (Cómo VCO)

Plano electrónico correspondiente al conexionado del circuito integrado CD4046, configurado como oscilador de frecuencia digital, y cuyo conexionado se muestra en la figura 8.2.

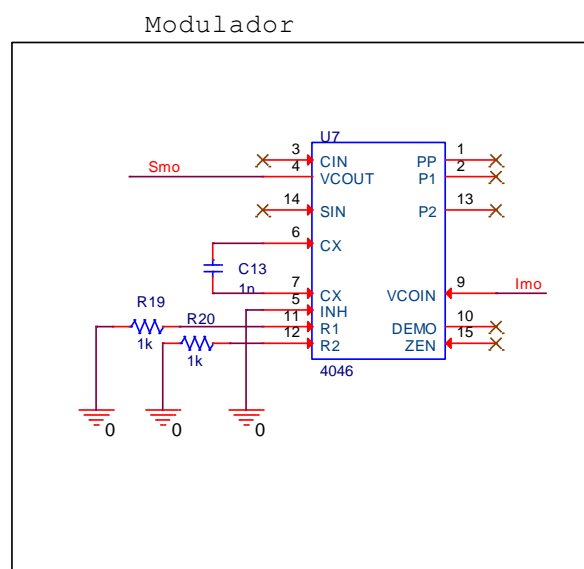


FIGURA 8.2-Esquema BL2 emisor

Plano electrónico correspondiente al conexionado del módulo transmisor de datos y antena para envío de los mismos a 433 MHz, su conexionado se muestra en la figura 8.3.



Esquema electrónico correspondiente al conexionado de la alimentación del circuito impreso el cual funciona entre 0 V y 5 V, tensiones que llegarán a cada uno de los componentes del circuito electrónico. Su conexionado se muestra en la figura 8.4



8.3 Anexo 3 “Esquema fotolítico emisor”

En la figura 8.5 se puede ver el plano fotolítico de la parte emisora desarrollado con la herramienta de trabajo orcad.

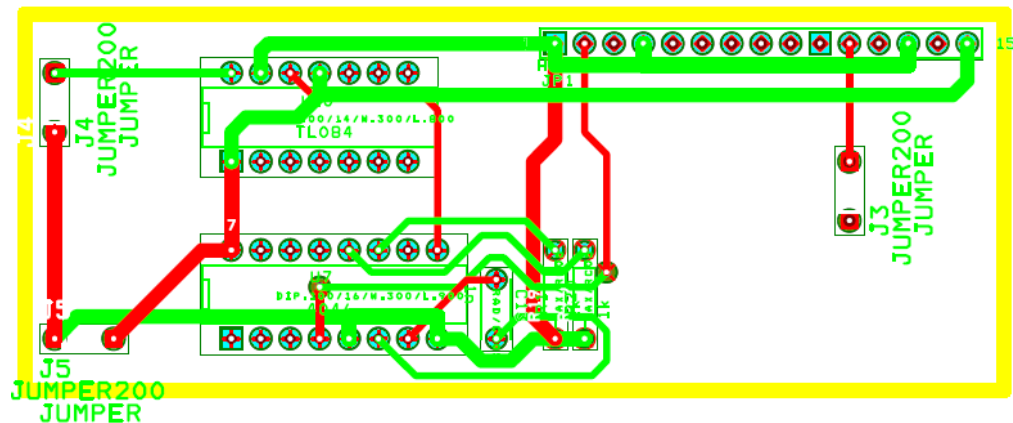


FIGURA 8.5- Plano fotolítico emisor

8.4 Anexo 4”TQ2-5V”

Especificaciones:

Altura: 5mm.

Configuración contactos: DPDT.

Longitud: 14mm.

Material de contactos: plata recubrimiento de oro.

Potencia bobina: 140mW.

Profundidad: 9mm.

Resistencia bobina: 178 Ω .

Resistencia contactos: 50 m Ω .

Temperatura máxima de funcionamiento: 70°C.

Temperatura mínima de funcionamiento: -40°C.

Tensión bobina: 5 V DC.

Vida útil: 100000000 ciclos.

La hoja de características la podemos descargar de la siguiente página:

<http://pewa.panasonic.com/assets/pcsd/catalog/tq-catalog.pdf>

8.5 Anexo 5 “Descripción técnica CD4046”

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PLL COS/MOS

En la figura 8.6 se muestra en diagrama de bloques del integrado CD4046

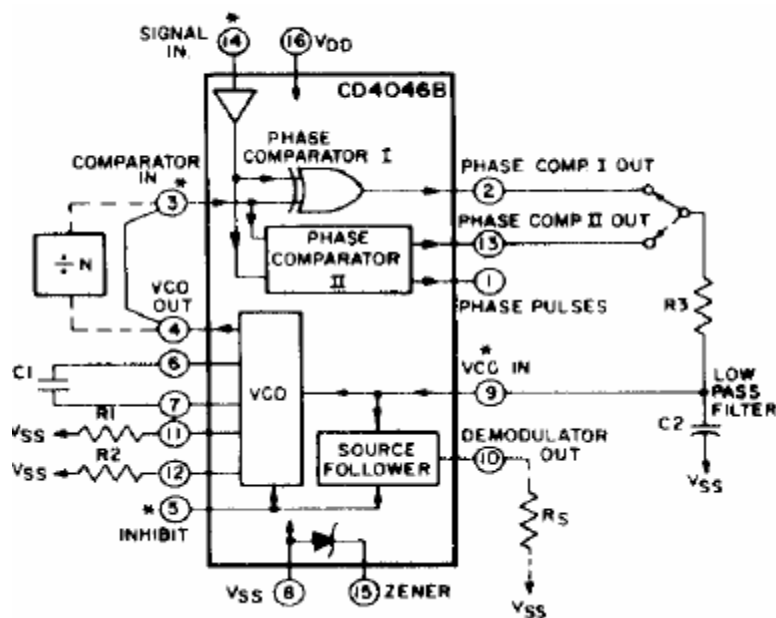


FIGURA 8.6-Diagrama bloques CD4046

Su estructura de bloques del PLL consta de 3 partes fundamentales:

- 1) VCO.
- 2) 2 comparadores de fase.
- 3) Seguidor de corriente.

1) VCO

El oscilador de frecuencia depende de los componentes externos R_1 , R_2 y C_1 y de la tensión de entrada de VCOin, que debe estar entre los niveles lógicos de alimentación del integrado. En la figura 8.7 se muestra el diagrama del VCO.

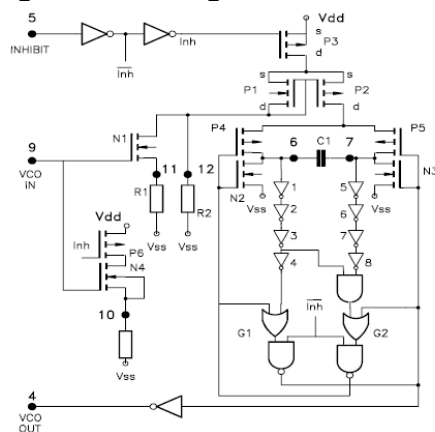


FIGURA 8.7-Diagrama bloques VCO

Para que asegurar un consumo mínimo es deseable que el valor de las resistencias sea elevado y el del condensador pequeño entre los siguientes niveles.

$$10k \leq R_1 \text{ y } R_2 \leq 1M$$

$$10pF \leq C_1 \leq 0,01\mu F$$

El circuito del VCO, mostrado en figura anterior opera del modo siguiente:

Cuando el circuito está habilitado (pin 5 a masa) el transistor P3 pasa a conducir conectando el transistor P1 y el transistor P2 a VDD.

La corriente de trt1 depende de $z = R_2 / (R_1 + Z_{N1})$ y de VDD.

La corriente de P2 es igual a la de P1 (corriente en espejo) y cargará C_1 .

Cuando $V_c = VDD$ se produce la conmutación entre puertas que cambiarán las polarizaciones de los transistores P5, N3 y P4, N2.

Cuando el pin 9 esté a cero N1, no conduce, al ser de tipo "n", siendo la impedancia de su rama infinita, por lo que la corriente que pasa por P1 dependerá de R_2 , siendo mínima.

Como la intensidad por R_2 será mínima la frecuencia de oscilación también lo será, debido al elevado tiempo de carga del condensador

$$f_0 = \frac{2K}{R_2 \cdot C_1}$$

De esta manera se puede observar que la frecuencia mínima depende de C_1 y R_2 , y la máxima de R_1 .

Comparadores de fase

Son comparadores digitales, para controlar adecuadamente la ganancia, ambos presentan una configuración amplificadora común compuesta de etapas de polarización y amplificadores inversores.

La señal de entrada al comparador puede introducirse directamente siempre que se encuentre dentro de los valores lógicos con los que el integrado se encuentra alimentado.

Comparador de fase II

Es una memoria digital R-S controlada por flancos, compuesta de 4 flip-flops controlados por distintas puertas lógicas y su salida en tri estado compuesta por 2 transistores con un punto común como puede verse en la figura 8.8.

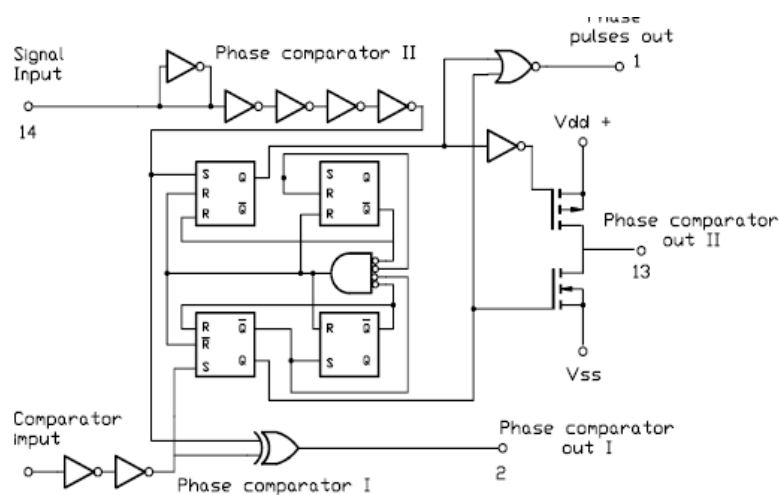


FIGURA 8.8-Diagrama bloques comparador fase II CD4046

Solo actúa ante flancos positivos de señal, su ciclo de trabajo no importa debido a que el PLL se controla por transiciones positivas.

Si la frecuencia de entrada (pin14) > Entada del comparador (pin 4), conduce el transistor "p". En caso contrario conducirá el "n".

Si ambas frecuencias son iguales, y la señal de entrada (pin 14), está atrasada en fase, conducirá el transistor tipo n, pero si se adelanta conducirá el transistor tipo p.

Como consecuencia el voltaje que cae en el condensador se ajustará hasta que la señal de entrada (pin 14)= Entada del comparador (pin 4), en fase y frecuencia.

8.6 Anexo 6 “Valores componentes externos CD4046 para modulación y demodulación”.

En la figura 8.9 se muestra una tabla con los valores normalizados de los componentes externos necesarios para realizar la modulación y demodulación de cada pareja de conmutadores inalámbricos. Realizada a partir de las siguientes formulas obtenidas de las hojas de características del CD4046.

$$f_{min} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32pF)} \longrightarrow V_{coinput} = V_{ss}$$

$$f_{max} = \frac{1}{R_1(C_1 + 32pF)} - f_{min} \longrightarrow V_{coinput} = V_{dd}$$

Donde las resistencias y condensadores deben estar entre los siguientes Valores:

$$10k \leq R_1 \text{ y } R_2 \leq 1M$$

$$10pF \leq C_1 \leq 0,01\mu F$$

Pareja	Condensadores[nF]	Frecuencia[Hz]		R1[KΩ]	R2[KΩ]
		Mínima	Máxima		
1	100	100	200	10	10
2	100	400	500	10	27
3	100	700	800	10	15
4	10	1000	1100	10	10
5	10	1300	1400	10	82
6	10	1600	1700	10	68
7	10	1900	2000	10	56

FIGURA 8.9-Tabla de valores normalizados de componentes externos para modulación y demodulación

Para las resistencias habrá que buscar valores comerciales lo más próximos a los indicados, pero en todo caso habrá que analizar de nuevo la frecuencia mínima para diseñar el filtro pasa banda adecuado.



La frecuencia mínima corresponde con Valor de entrada en VCOin de 0V, y la frecuencia máxima corresponde con Valor de entrada en VCOin de 5 V.

8.7 Anexo 7 “Características del C0503”

Características técnicas:

- Circuito híbrido de elevada miniaturización, tipo SIL.
- Frecuencia de trabajo: 433,92 MHz, obtenida mediante un resonador SAW.
- Potencia de salida RF sobre una carga de 50 W, pin 11 (Ver tabla).
- Espurios: - 50 dB respecto de la fundamental.
- Frecuencia de modulación: 4 KHz max. (Ver tabla).
- Los límites de estabilidad de la Normativa ETS 300 220 son respetados sólo para $V_{cc} \leq 5V$ (Ver tabla).
- Formato: in line, paso 2, 54 mm.
- Dimensiones: 38,1 x 13,2 x 3 mm.

El modulo emisor de datos puede observarse en la figura 8.10

Conexión de los pines:

1. Masa.
2. Entrada modulación, (Ver Tabla).
3. Entrada modulación, (Ver Tabla).
4. Masa.
11. Antena.
13. Masa.
15. Positivo, (Ver Tabla).



FIGURA 8.10-C0503

Alimentación V_{cc}	Pin(2)	Pin(3)	Frecuencia modulación	Potencia salida	Consumo
3-5 V.D.C.	0- V_{cc}	N.C.	3KHz	3,5-8 dbm	3,5-7,5mA.
5-8 V.D.C.	N.C.	0-5	4KHz	7,5-10,5 dbm	3,5-4mA
8-12 V.D.C.	0-5	N.C.	4KHz	12-15 dbm	7,5-9,5mA

8.8 Anexo 8 “Planos caja contenedora de emisor”

En la figura 8.11 se encuentran detallados los planos de la caja emisora con las medidas necesarias para la realización de la misma.

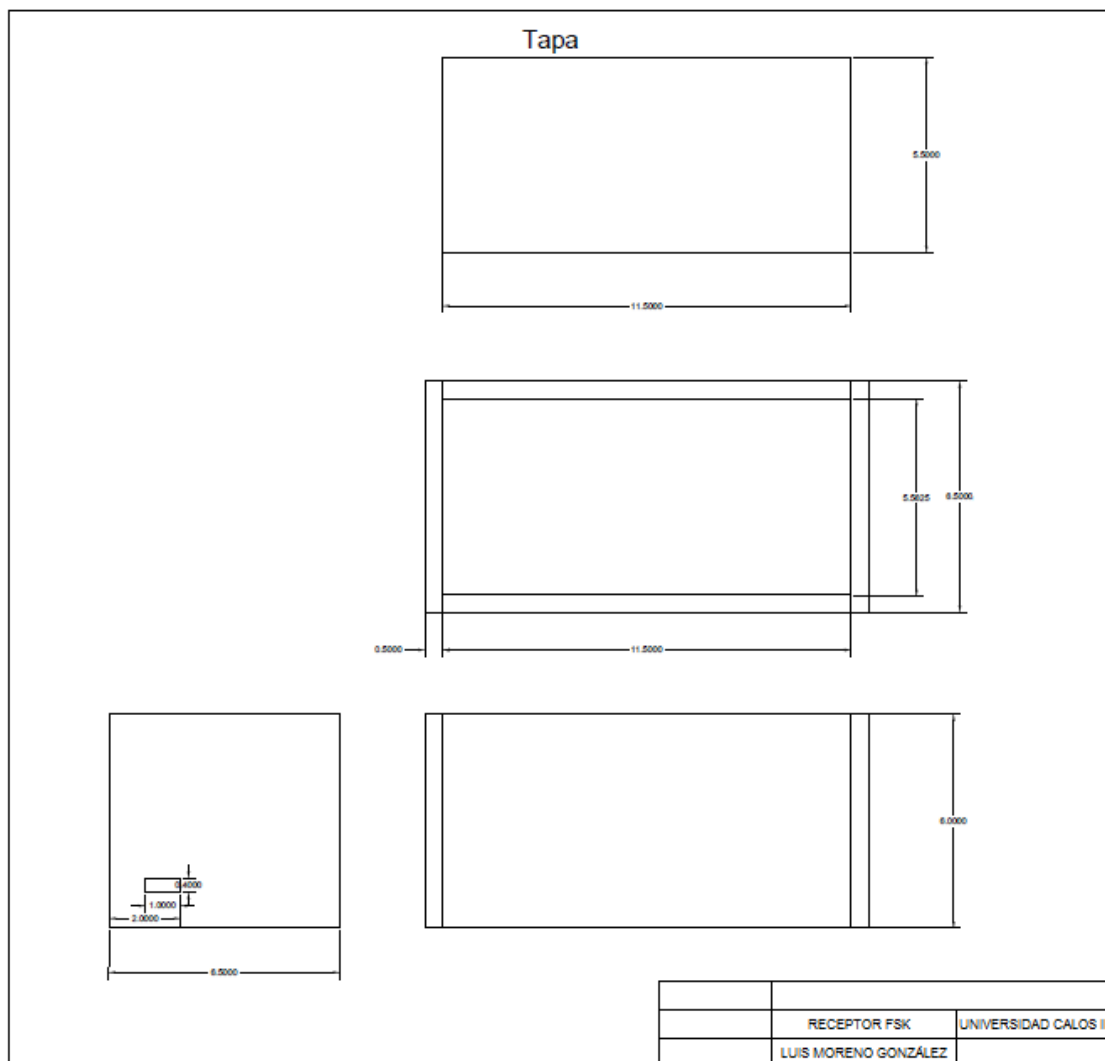


FIGURA 8.11-Planos caja emisora

8.9 Anexo 9” Esquemas bloques receptor”

Se van a exponer los esquemas eléctricos por bloques del receptor, que es el encargado de recibir y procesar la señal.

8.9.1 BL1: C0504 (Receptor de datos) y antena

Plano electrónico correspondiente al conexionado del módulo receptor de datos y antena para recepción de los mismos a 433 MHz. Su conexionado se muestra en la figura 8.12.

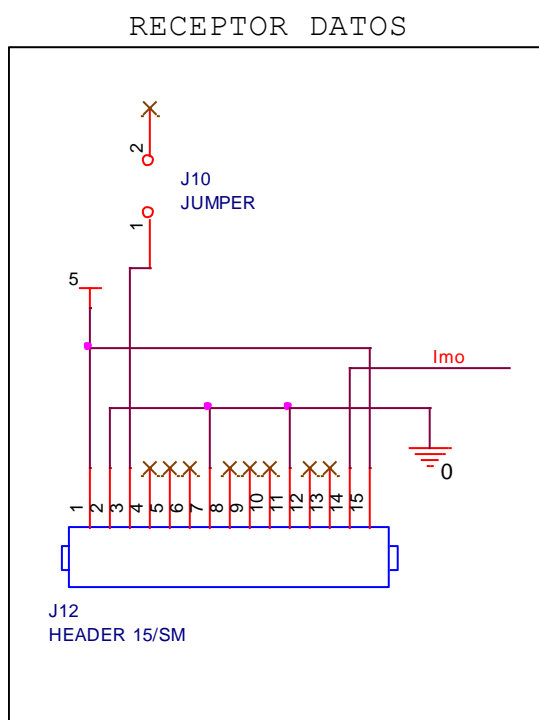


FIGURA 8.12 Esquema BL1 receptor

8.9.2 BL2: Filtro pasa banda

Esquema electrónico de conexionado de los amplificadores operacionales, los cuales actúan como filtro pasa banda, rechazando aquellas frecuencias fuera de los límites de diseño. Su conexionado se muestra en la figura 8.13.

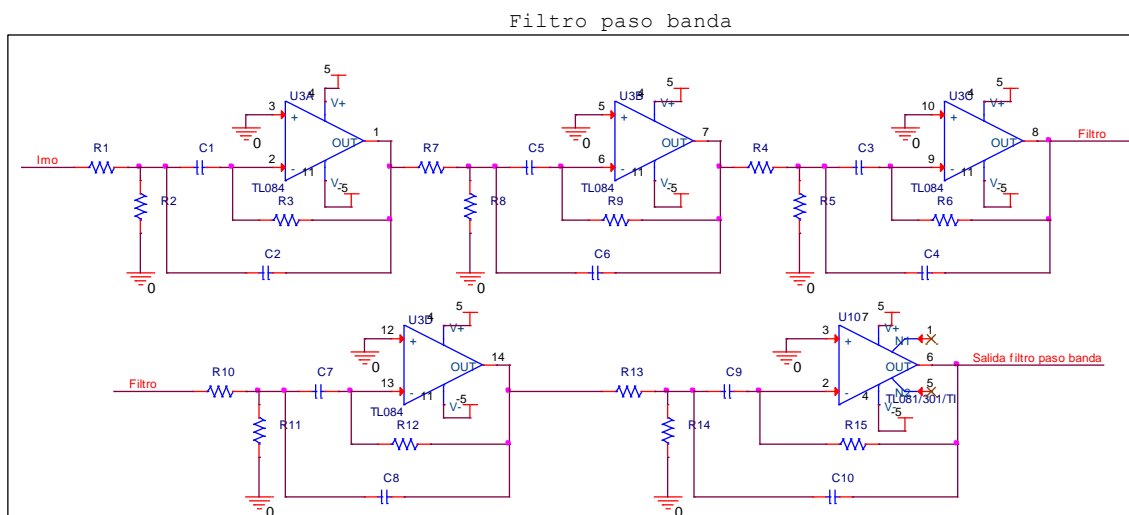


FIGURA 8.13 Esquema BL2 receptor

8.9.3 BL3: Recuperación de señal o información

Plano electrónico correspondiente al conexionado del amplificador operacional encargado de recuperar la información que inicialmente fue recibida por el módulo receptor, si se encuentra dentro de los límites de diseño. Su conexionado se muestra en la figura 8.14.

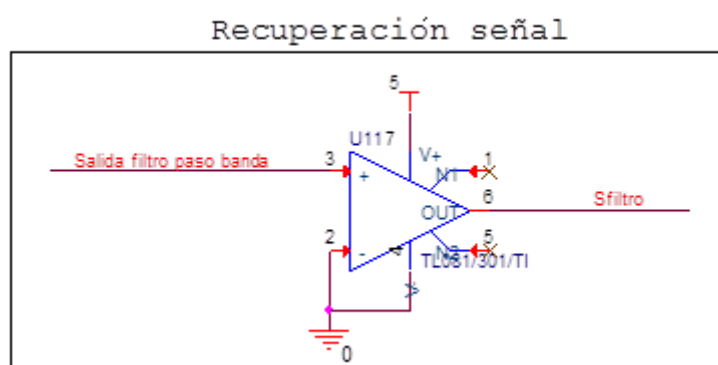


FIGURA 8.14 Esquema BL3 receptor

8.9.4 BL4: Demodulación (CD4046), mediante PLL

Plano electrónico correspondiente al conexionado del circuito integrado CD4046, configurado como PLL, el cual va a encargarse de demodular la señal recibida. Su conexionado se muestra en la figura 8.15.

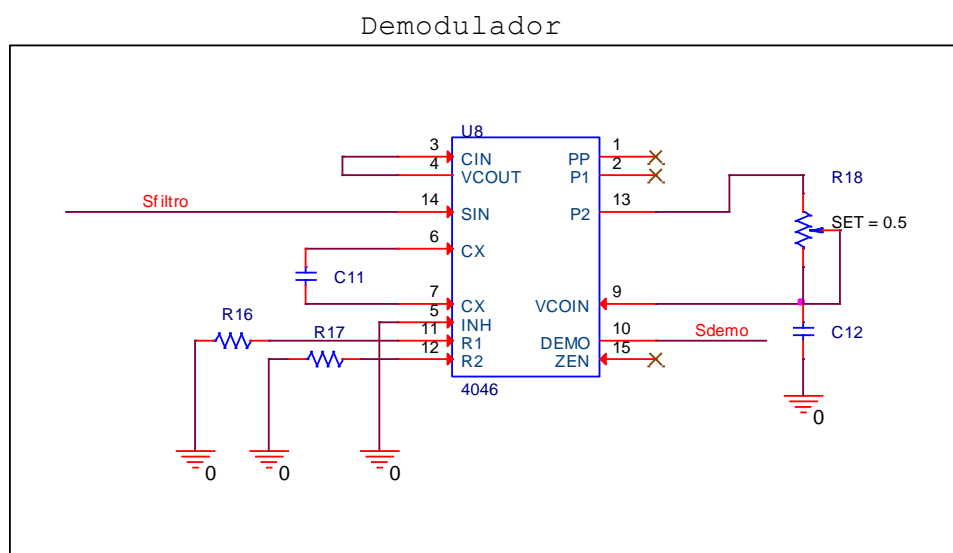


FIGURA 8.15 Esquema BL4 receptor

8.9.5 BL5: Amplificador de transconductancia.

Esquema electrónico del amplificador de corriente necesario, para alcanzar intensidades de funcionamiento correctas según el diseño. Su conexionado se muestra en la figura 8.16.

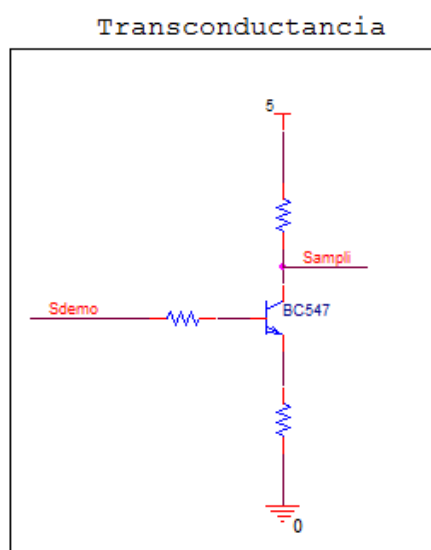


FIGURA 8.16 Esquema BL5 receptor

8.9.6 BL6: Reducción acoplo impedancias

Plano electrónico del conexionado del acondicionador de señal, manteniendo valores estables, para su actuación sobre el relé. Su conexionado se muestra en la figura 8.17.

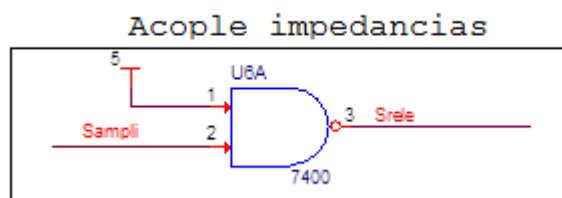


FIGURA 8.17 Esquema BL6 receptor

8.9.7 BL7: Relé (Tq2-5V) y salida Jack 3mm macho

Plano electrónico correspondiente a la entrada del relé actuando sobre la salida Jack. Figura 8.18.

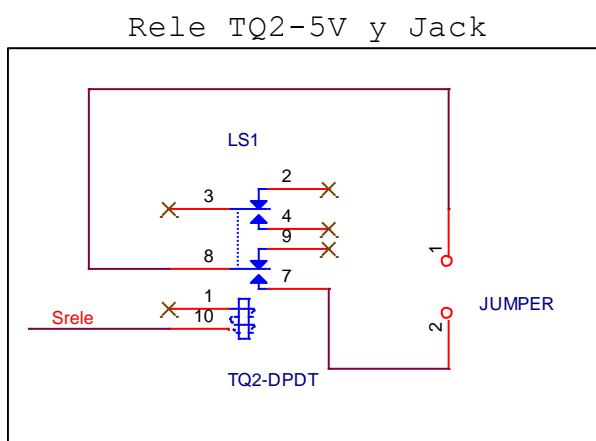


FIGURA 8.18 Esquema BL7 relé

8.9.8 BL8: Alimentación

Esquema electrónico correspondiente al conexionado de la alimentación del circuito impreso el cual funciona entre 0 V y +/-5 V, tensiones que llegarán a cada uno de los componentes del circuito electrónico. Su conexionado se muestra en la figura 8.19.

ALIMENTACION

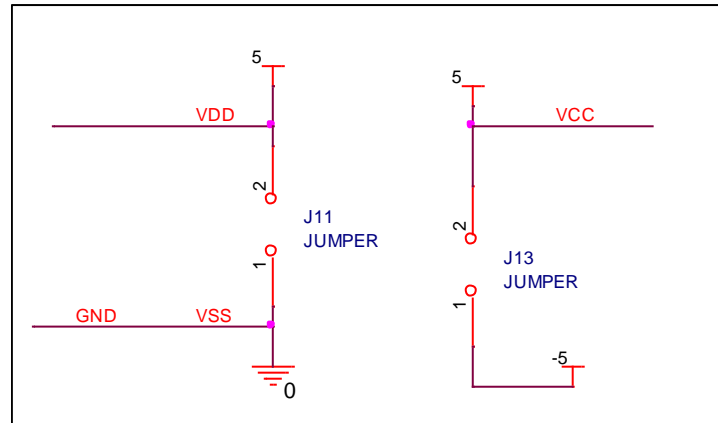


FIGURA 8.19 Esquema BL8 receptor

8.10 Anexo 10“Esquema fotolítico receptor”

En la figura 8.20 se puede ver el plano fotolítico de la parte receptor desarrollado con la herramienta de trabajo orcad.

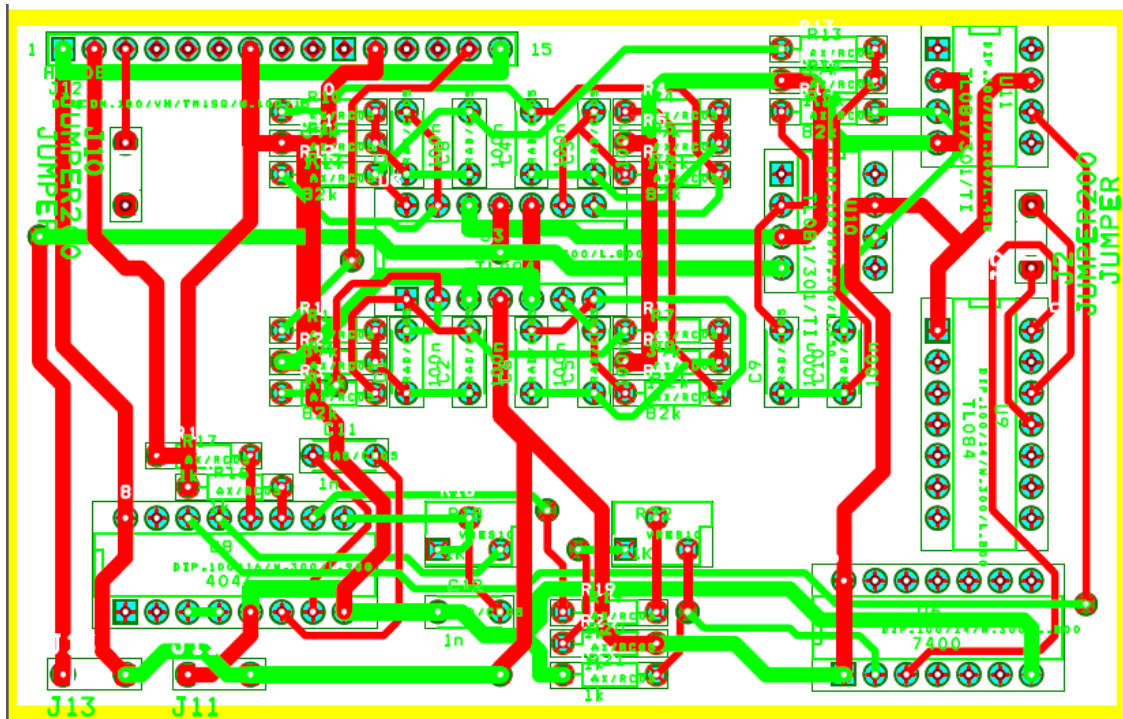


FIGURA 8.20-Fotolíticos receptor

8.11 Anexo 11 “Características del C0504”

Características técnicas

- Circuito híbrido de elevada miniaturización, tipo SIL.
- Frecuencia de recepción: 433,92 MHz
- Recepción de señal con modulación OOK (On-Off Keying).
- Sensibilidad RF, medida con señal On-Off en la entrada; mejor de 3 mV (-97 dBm) a centro de banda.
- Banda pasante RF a -3 dB: típica 1,2 MHz
- Alimentación con filtro RC, para eliminar parásitos debidos a circuitos tipo sirena de alarma.
- Antena de 1/4 de onda.
- Salida con onda cuadrada, frecuencia máxima de 2 KHz.
- Nivel lógico de salida: bajo en ausencia de señal RF.
- Alimentación: 5V, consumo máximo 3mA (típico 2,7 mA).
- Radiación en antena < -60dBm (analizador 50W, filtro FI 100kHz).
- Tiempo de subida: < 2 s.
- Formato: in line, paso 2,54 mm.
- Dimensiones: 38,1 x 13,7 x 5,5 mm.

El modulo receptor de datos puede observarse en la figura 8.21

Conexión de los pines:

1. Positivo, 5 V.
2. Masa.
3. Antena.
7. Masa.
11. Masa.
13. Punto de Prueba.
14. Salida.
15. Positivo, 5 V.

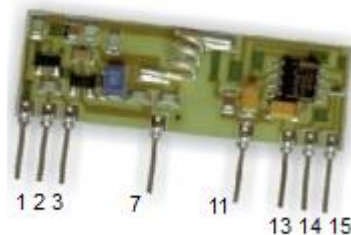


FIGURA 8.21-C0504

8.12 Anexo 12 “Planos caja contenedora de receptor”

En la figura 8.22 se encuentran detallados los planos de la caja receptora junto con las cotas necesarias para la realización de la misma.

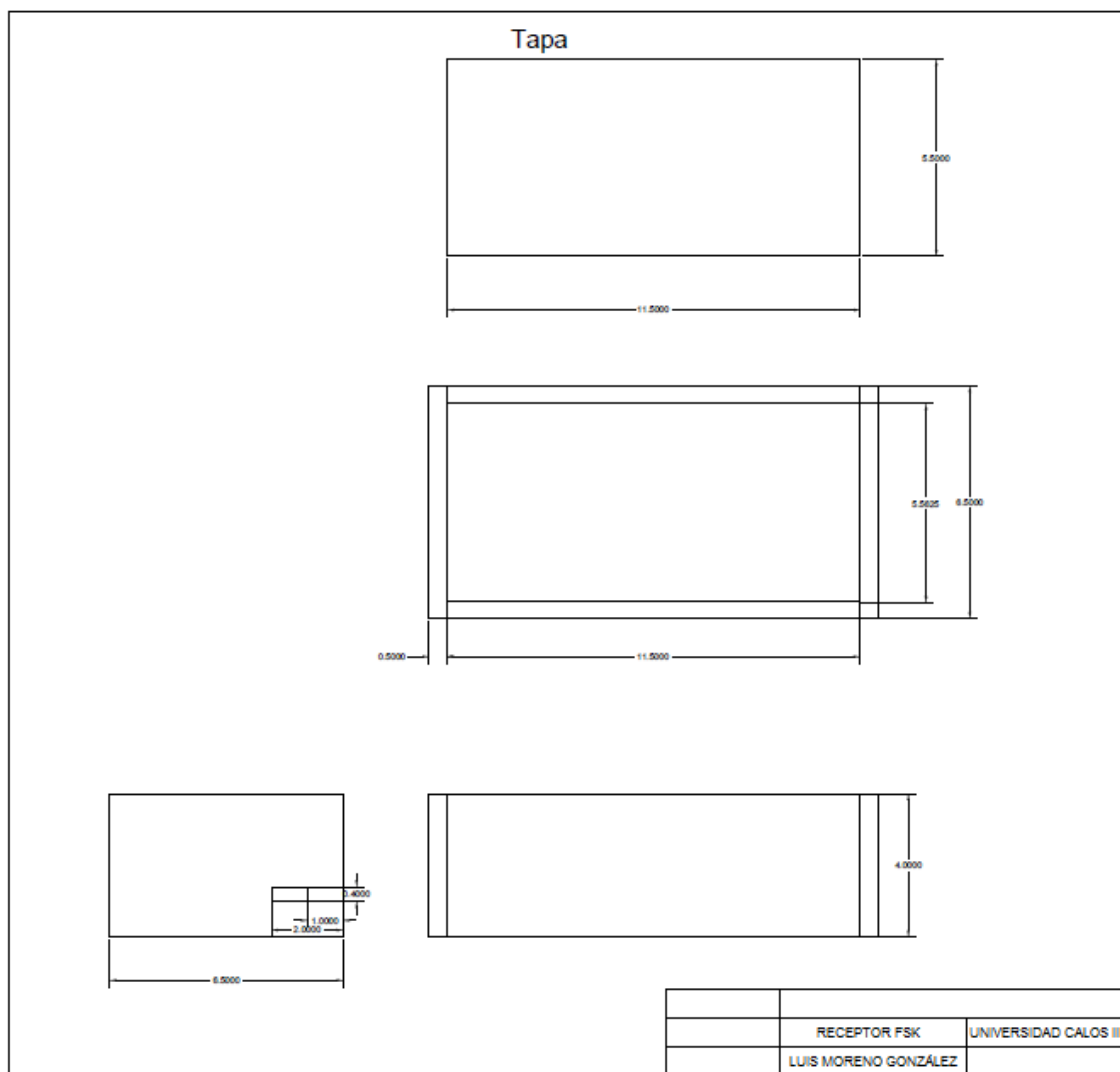


FIGURA 8.22-Planos caja receptor

8.13 Anexo 13 “Valores resistencia filtro pasa banda, para cada conmutador inalámbrico”.

Las ecuaciones [2] necesarias para su cálculo son:

$$Q = \frac{f_m}{f_2 - f_1} \rightarrow \text{Calidad del filtro}$$

$$f_m = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} \rightarrow \text{Frecuencia central}$$

$$A_m = \frac{-R_2}{2R_1} \rightarrow \text{Ganancia}$$

$$Q = \pi C f_m R_2 \rightarrow \text{Calidad del filtro}$$

$$C_1 = C_2$$

En las figuras 8.23, 8.84, 8.25, 8.26, 8.27, 8.28, 8.29 se muestran unas tablas resumen con el cálculo de los componentes normalizados, necesarios para cada filtro pasa banda de cada conmutador inalámbrico.

Conmutador inalámbrico 1					Valor normalizado		
C [nF]	Fmin[Hz]	Fmax[Hz]	fm[Hz]	Q	R2[KΩ]	R1[KΩ]	R3[KΩ]
10	100	200	100	1	390	220	100
10	100	200	125	1,25	390	220	56
10	100	200	150	1,5	390	220	33
10	100	200	175	1,75	390	220	22
10	100	200	200	2	390	220	18

FIGURA 8.23-FPB conmutador inalámbrico 1

Conmutador inalámbrico					Valor normalizado		
C [nF]	Fmin[Hz]	Fmax[Hz]	fm[Hz]	Q	R2[KΩ]	R1[KΩ]	R3[KΩ]
10	400	500	400	4	390	220	4,7
10	400	500	425	4,25	390	220	3,9
10	400	500	450	4,5	300	220	3,3
10	400	500	475	4,75	390	220	3,3
10	400	500	500	5	390	220	2,7

FIGURA 8.24-FPB conmutador inalámbrico 2

Conmutador inalámbrico 3					Valor normalizado		
C [nF]	Fmin[Hz]	Fmax[Hz]	fm[Hz]	Q	R2[KΩ]	R1[KΩ]	R3[KΩ]
1	700	800	700	7	390	220	390
1	700	800	725	7,25	390	220	330
1	700	800	750	7,5	390	220	270
1	700	800	775	7,75	390	220	220

CONMUTADORES INALÁMBRICOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD

1	700	800	800	8	390	220	180
---	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----

FIGURA 8.25-FPB conmutador inalámbrico 3

Conmutador inalámbrico 4					Valor normalizado		
C [nF]	Fmin[Hz]	Fmax[Hz]	fm[Hz]	Q	R2[KΩ]	R1[KΩ]	R3[KΩ]
10	1000	1100	1000	10	390	220	10
10	1000	1100	1025	10,25	390	220	10
10	1000	1100	1050	10,5	390	220	82
10	1000	1100	1075	10,75	390	220	82
10	1000	1100	1100	11	390	220	82

FIGURA 8.26-FPB conmutador inalámbrico 4

Conmutador inalámbrico 5					Valor normalizado		
C [nF]	Fmin[Hz]	Fmax[Hz]	fm[Hz]	Q	R2[KΩ]	R1[KΩ]	R3[KΩ]
10	1300	1400	1300	13	390	220	47
10	1300	1400	1325	13,25	390	220	47
10	1300	1400	1350	13,5	390	220	47
10	1300	1400	1375	13,75	3900	220	39
10	1300	1400	1400	14	390	220	39

FIGURA 8.27-FPB conmutador inalámbrico 5

Conmutador inalámbrico 6					Valor normalizado		
C [nF]	Fmin[Hz]	Fmax[Hz]	fm[Hz]	Q	R2[KΩ]	R1[KΩ]	R3[KΩ]
10	1600	1700	1600	16	390	220	33
10	1600	1700	1625	16,25	390	220	27
10	1600	1700	1650	16,5	390	220	27
10	1600	1700	1675	16,75	390	220	27
10	1600	1700	1700	17	390	220	27

FIGURA 8.28-FPB conmutador inalámbrico 6

Conmutador inalámbrico 7					Valor normalizado		
C [nF]	Fmin[Hz]	Fmax[Hz]	fm[Hz]	Q	R2[KΩ]	R1[KΩ]	R3[KΩ]
1	1900	2000	1900	19	390	220	22
1	1900	2000	1925	19,25	390	220	22
1	1900	2000	1950	19,5	390	220	22
1	1900	2000	1975	19,75	390	220	18
1	1900	2000	2000	20	390	220	18

FIGURA 8.29-FPB conmutador inalámbrico 7

8.14 Anexo 14" Sistema alternativo"

Se ha estudiado la posibilidad de realizar los mandos a distancia mediante codificadores y decodificadores.

Emisor

Empleamos el codificador HT 12E, que es un codificador, con 4 bit de envío [D8-D10], posee 8 bits de direcciones [A0-A7], pudiendo tener hasta 256 direcciones, modificando las entradas de los mismos (cero o dejándolo al aire).

La figura 8.30 muestra la configuración y montaje de codificador, de esta manera si no se actúa sobre el pulsador el Jack no se cortocircuitará y el bit D8 se encontrará a "1" lógico, por el contrario si se pulsa el pulsador, el Jack quedará cortocircuitado y entrará un "0" lógico en D8.

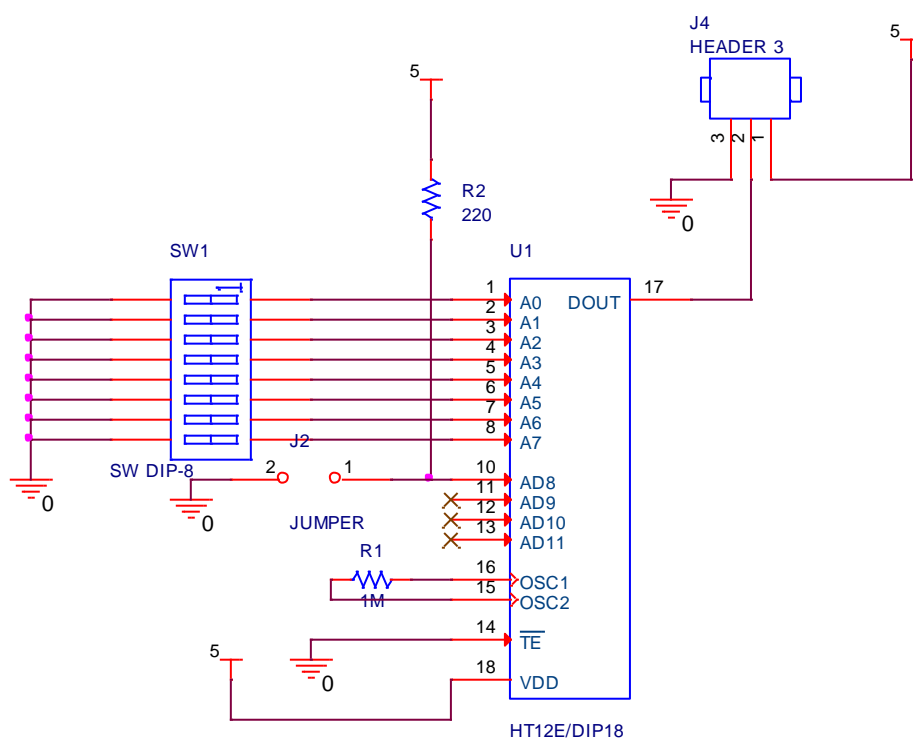


FIGURA 8.30-Esquema codificador

El envío de datos se realizará mediante el módulo HR-T433

Receptor

Deberá tener la misma dirección que el codificador, la tarjeta receptora de datos a 433 MHz será la encargada de recibir la información y llevarla a la entrada del decodificador, el cual, si se corresponde con la misma dirección que el codificador, mostrará la salida al momento en que varíe D8 en la parte emisora. Con ese bit vamos a poder interaccionar sobre el relé como en el proyecto presentado, para que el juguete se active o no. En la figura 8.31 se puede ver el esquemático del decodificador.

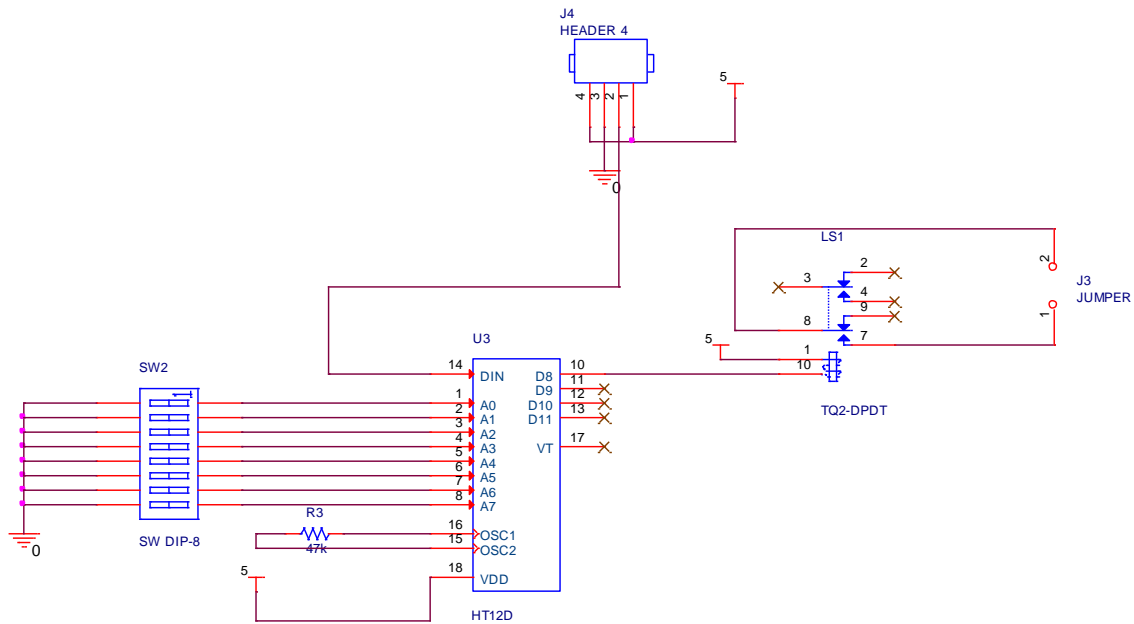


FIGURA 8.31-Esquema decodificador

La hoja de características la podemos descargar de las siguientes páginas:

HT12E

<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/View/64409/HOLTEK/HT12E.html>

HT12D

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/64409/HOLTEK/HT12D.html>

8.15 Anexo 15"Comparación de precios entre sistema modulado en frecuencia y sistema codificado"

Sistema modulación y demodulación de datos

En las figuras 8.32 y 8.33 se detallan los precios de la parte emisora y receptora respectivamente realizada por modulación y demodulación de datos.

<i>Producto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio[€]</i>
Jack 3 mm(hembra)	1	0,45
TQ2-5V	1	1,68
CD4046	1	0,22
Cebek C0503	1	7,70
Varios(zócalos ,antena, resistencias,.....)		1
Total		11,05

FIGURA 8.32-Precio emisor mediante modulación y demodulación de datos

<i>Producto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio[€]</i>
Jack 3 mm(macho)	1	0,68
TQ2-5V	1	1,68
CD4046	1	0,22
Cebek C0504	1	11,5
Varios(zócalos ,antena, resistencias,.....)	X	2,5
TI081	2	0,32
TL084	1	0,19
BC546	1	0,05
7400	1	0,19
Total		17,33

FIGURA 8.33-Precio receptor mediante modulación y demodulación de datos

Total sistema modulado→28,38 €

Sistema codificación y decodificación de datos

En la figura 8.34 y 8.35 se detallan los precios de la parte emisora y receptora respectivamente realizada por codificación y decodificación de datos.

<i>Producto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio[€]</i>
Jack 3,5 mm(hembra)	1	0,45
HT-12E	1	2
HM-T433	1	4,23
Varios(zócalos ,antena, resistencias condensadores)		0,5
Total		7,18

FIGURA 8.34-Precio emisor mediante codificación y decodificación de datos

<i>Producto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio[€]</i>
Jack 3,5 mm(macho)	1	0,68
HT-12D	1	2,02
HM-R433S	1	5,82
TQ2-5V	1	1,68
Varios(zócalos ,antena, resistencias condensadores)		0,7
Total		10,9

FIGURA 8.35-Precio receptor mediante codificación y decodificación de datos

Total sistema codificado → 18,08 €

La diferencia en el precio se debe básicamente al precio de los módulos de envío de datos, pero para conseguir los módulos HM-T433s y HM-R433 se necesitará largos periodos de tiempo, debido a que tardan varios meses en recibirse.

8.16 Anexo 16 “Circuito sustitutivo del relé en parte emisora”.

Sustitución relé TQ2-5v por el circuito mostrado en la figura 8.36

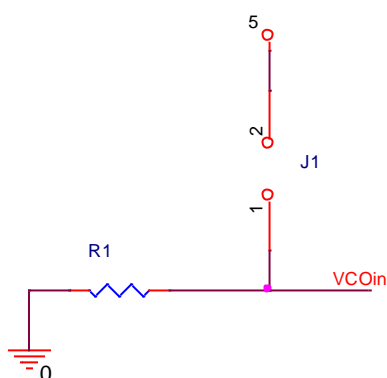


FIGURA 8.36-Circuito sustitutivo relé en parte emisora

De esta manera se conseguirá reducir el consumo de parte emisora, debido a que el relé posee mayor consumo que el circuito mostrado en la figura anterior.

8.17 Anexo 17 “Módulos funcionando con una sola frecuencia de trabajo”.

Se puede realizar módulos que presenten el mismo modo de funcionamiento, pero que trabajen solo con una frecuencia de modulación.

8.17.1 Emisor

Solo realizará la modulación de datos cuando el pulsador se encuentre activo, por lo tanto el consumo será inferior al sistema propuesto, el cual enviaba datos de manera continua, su esquema electrónico lo podemos observar en la figura 8.37.

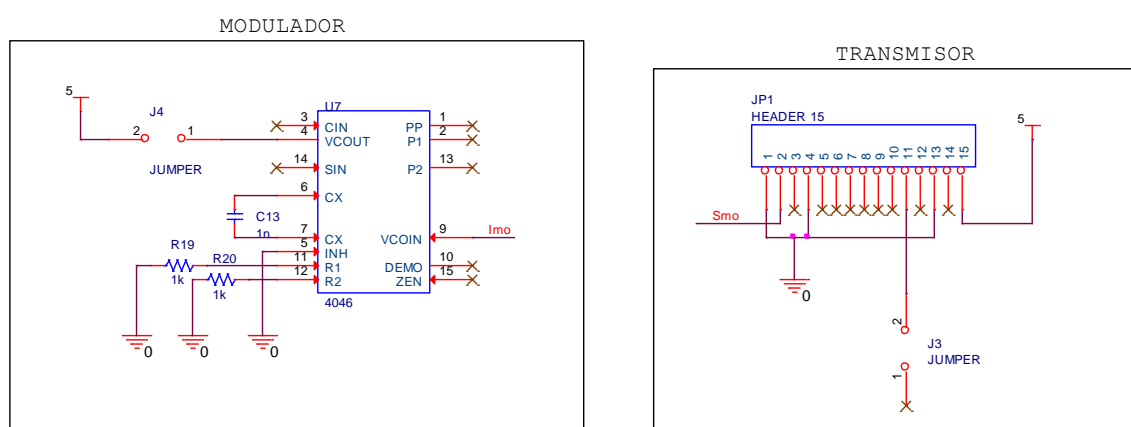


FIGURA 8.37-Circuito emisor trabajando a una sola frecuencia.

Además como puede observarse en el esquemático anterior que con esta configuración se elimina el relé de la parte emisora que es un componente que consume un elevado porcentaje respecto al consumo total del sistema entorno a un 30%.

8.17.2 Receptor

El esquema receptor se realizará como el sistema propuesto y desarrollado en el anexo 9, pero el consumo será mucho menor, debido a que solo se demodularán los datos cuando se requiera actuar sobre el dispositivo electrónico a controlar y no de manera continua como en el sistema desarrollado, consiguiendo de esta manera una mayor duración de la vida útil de las baterías.

9 REFERENCIAS

[1] Conmutadores inalámbricos actuales en mercado.

<http://www.ortosoluciones.com/es/comunicacion/conmutadores/conmutador-inalambrico-jelly-beamer.html>

[2] Diseño para todos.

<http://www.designforall.org/>

[3] Ventajas señales digitales frente señales analógicas.

<http://www.monografias.com/trabajos27/analogico-y-digital/analogico-y-digital.shtml>

[4] Datasheet CD4046.

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/H/E/F/4/HEF4046.shtml

[5] Datasheet C0513.

<http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29861/filtros.pdf>

[6] Datasheet C0514.

<http://www.cebek.com/docs/C-0514.pdf>

[7] Datasheet HM-T433.

http://www.hestore.hu/files/HM-T_EN.pdf

[8] Características emisoras antenas

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_19.htm

[9] Datasheet HM-R433s.

http://www.hestore.hu/files/HM-R_EN.pdf

[10] Filtros activos.

<http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29861/filtros.pdf>

[11] Link descarga Filterpro.

<http://www.ti.com/tool/filterpro>

[12] TL081.



<http://www.ti.com/lit/ds/snosbw6a/snosbw6a.pdf>

[13] Funcionamiento básico PLL.

<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/Aplicada/Cap02RedesPLL.pdf>

[14] Transconductancia.

http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electronica/3_anio/electronica_1/apuntes/Transistor%20de%20Efecto%20de%20Campo.%20-%20fets_2002.pdf

[15] Información básica transistores.

<http://dc102.4shared.com/doc/n3Ccmwql/preview.html>

[16] Acoplo impedancias.

<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/Aplicada/Cap11Adaptaciondeimpedancias2008.pdf>